

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2017

Jakub Novák

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Měření směrové charakteristiky  
ultrazvukového senzoru**

**Measurements Directional  
Characteristics of Ultrasonic Sensor**

2017

Jakub Novák

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Novák**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy  
Téma: **Měření směrové charakteristiky ultrazvukového senzoru**  
**Measurements Directional Characteristics of Ultrasonic Sensor**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Studium problematiky ultrazvukových senzorů a jejich využití pro účely měření.
2. Konstrukce přípravku pro měření směrové charakteristiky senzoru.
3. Realizace komunikace se senzorem přes rozhraní I2C.
4. Tvorba softwarové aplikace pro měření směrové charakteristiky senzoru.
5. Měření směrové charakteristiky senzoru.
6. Vyhodnocení výsledků měření.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. 250 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [2] WITTASSEK, Tomáš. *Virtuální instrumentace I*. Sylaby do předmětu Virtuální instrumentace I. Ostrava 2012. 264 s.
- [3] VLACH, Jaroslav, HAVLÍČEK, Josef a VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: BEN - technická literatura, 2008. 248 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [4] ROBOT STORE (HK). *SRF08 – Ultrasonic range finder – datasheet*. Dostupné z: <http://www.robotstorehk.com/srf08tech.pdf>.
- [5] DEVANTECH Ltd (Robot Electronics). *SRF08 Ultra sonic range finder*. Dostupné z: <http://www.robot-electronics.co.uk/html/srf08tech.html>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ludvík Koval, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

*Jakub Novák* .....

## **Abstrakt**

Cílem této práce je nastudovat funkčnost a komunikační protokol sběrnice I<sup>2</sup>C, pochopit princip funkčnosti ultrazvukového senzoru, vytvořit aplikaci v programu LabVIEW schopnou komunikovat se senzorem a pořizovat data, změřit a vyobrazit směrovou charakteristiku ultrazvukového senzoru. Měření je provedeno na ultrazvukovém senzoru SFR08. Zpracování a vykreslení naměřených dat do grafů je provedeno v programu Matlab.

## **Klíčová slova**

Sběrnice I<sup>2</sup>C, Ultrazvukový senzor SFR08, Směrová charakteristika, LabVIEW, Matlab, 3D tiskárna

## **Abstract**

The aim of this thesis is to study principle of communication protocol on I<sup>2</sup>C bus, understand principle of ultrasonic rangefinder, create application in LabVIEW which is capable of gathering data and communicating with the ultrasonic sensor, measure and plot directional characteristic of ultrasonic rangefinder. Measuring is done using ultrasonic sensor SFR08. Analysis of measured data is done using Matlab.

## **Key words**

I2C bus, Ultrasonic rangefinder SFR08, Directional characteristic, LabVIEW, Matlab, 3D printer

## Obsah

|  |      |
|--|------|
| Seznam použitých symbolů a zkratk .....                            | VII  |
| Seznam ilustrací a tabulek .....                                   | VIII |
| Úvod .....   | 1    |
| Vlastní zpracování práce .....                                     | 2    |
| 1    Ultrazvuk .....   | 2    |
| 1.1    Využití ultrazvuku .....                                    | 2    |
| 2 $I^2C$ .....   | 3    |
| 3    Ultrazvukový senzor SFR08 .....                               | 5    |
| 3.1    Princip funkce .....  | 6    |
| 3.2    Adresování a registry .....                                 | 6    |
| 3.3    Přesnost a charakteristika .....                            | 7    |
| 3.4    ANN MOD .....   | 8    |
| 3.5    Popis DPS a funkce .....                                    | 8    |
| 4    Matlab .....  | 9    |
| 5    LabVIEW .....   | 10   |
| 6    Praktická část .....  | 11   |
| 6.1    Popis měřicí aplikace .....                                 | 11   |
| 6.2    Popis čelního panelu .....                                  | 12   |
| 7    Naměřené data .....   | 13   |
| 7.1    Analýza a zpracování naměřených dat .....                   | 13   |
| 7.2    Příčný a podélný směr .....                                 | 16   |
| 7.3    Vliv analogového zesílení na směrovou charakteristiku ..... | 18   |
| 8    3D tiskárna .....   | 23   |
| 9    Měřicí přípravek .....  | 25   |
| 10    Postup měření .....  | 27   |
| Závěr .....  | 28   |
| Literatura .....   | 29   |
| Seznam příloh .....  | 31   |
| Matlab skript pro vykreslení grafů .....                           | 32   |

## **Seznam použitých symbolů a zkratek**

I<sup>2</sup>C – Inter-integrated Circuit – Multi-máastrová počítačová sběrnice

SDA – Synchronous Data – Linka sběrnice určená pro přenos dat

SCL – Synchronous Clock – Linka určená pro hodinový signál

COM – Communication Port – Název pro rozhraní sériového portu

SubVI – Subroutine VI – Vnořená část kódu VI

PLA – Polylactid acid – Materiál používaný na tiskovou strunu

## Seznam ilustrací a tabulek

### Seznam ilustrací

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1. Sběrnice I2C .....  | 4  |
| Obrázek 2. Přenos zprávy na sběrnici .....                                   | 4  |
| Obrázek 3. Přenos jednoho byte.....  | 5  |
| Obrázek 4. Ultrazvukový senzor SFR08.....                                    | 5  |
| Obrázek 5. Charakteristika SFR08 udávaná výrobcem.....                       | 8  |
| Obrázek 6. funkční schéma senzoru SFR08.....                                 | 9  |
| Obrázek 7. Datové typy vodičů.....   | 10 |
| Obrázek 8. Měřicí karta NI-8451 .....  | 11 |
| Obrázek 9. Měřicí aplikace .....   | 12 |
| Obrázek 10. Čelní panel měřicí aplikace.....                                 | 13 |
| Obrázek 11. Směrová charakteristika příčného a podélného směru.....          | 17 |
| Obrázek 12. Srovnání aproximovaných charakteristik .....                     | 17 |
| Obrázek 13. Směrová charakteristika podélného směru při změně zesílení ..... | 19 |
| Obrázek 14. Aproximace podélného zesílení.....                               | 19 |
| Obrázek 15. Směrová charakteristika příčného směru při změně zesílení .....  | 21 |
| Obrázek 16. Aproximace příčného zesílení .....                               | 21 |
| Obrázek 17. Směrová charakteristika zobrazená v prostoru .....               | 22 |
| Obrázek 18. aproximovaná data směrové charakteristiky v prostoru .....       | 22 |
| Obrázek 19. 3D Tiskárna .....  | 24 |
| Obrázek 20. Namodelované objekty .....                                       | 25 |
| Obrázek 21. Vyrobené objekty.....  | 26 |
| Obrázek 22. Měřicí stojan .....  | 26 |

### Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1. Seznam příkazů pro ovládání senzoru.....     | 7  |
| Tabulka 2. Naměřená data pro příčný a podélný směr..... | 16 |
| Tabulka 3. Naměřená data pro podélný směr.....          | 18 |
| Tabulka 4. naměřená data pro příčný směr .....          | 20 |
| Tabulka 5. Výsledky měření .....                        | 23 |



## Úvod

Práce je rozdělena do dvou částí. V první části se zabývám technickými parametry samotného senzoru a popisem aplikací potřebných k měření. Dále se v práci věnuji studiu sběrnice I2C a způsobem přenosu dat po jejích linkách. Ve druhé části se zabývám výrobou měřicího zařízení, samotným měřením a vyhodnocením výsledků. Princip funkce senzoru SFR08 spočívá ve vyslání pulsu o frekvenci 40 KHz. Měří se čas od vyslání signálu reproduktorem do příchodu ozvěny na mikrofon. Čas je poté přepočten na vzdálenost. Cílem práce je vytvořit směrovou charakteristiku pro podélný a příčný směr a porovnání naměřených hodnot s hodnotami udávanými výrobcem. Téma práce jsem si vybral, protože mě zajímá problematika měření ultrazvukem a v minulosti jsem již měl možnost pracovat se senzorem založeným na stejné metodě měření. Měřicí aplikaci jsem naprogramoval v programu LabVIEW, vyhodnocení a vykreslení dat jsem provedl v programu MATLAB a Excel. V programu AutoCAD jsem namodeloval díly potřebné pro sestavení měřicího ramena, tyto díly jsem poté vyrobil na 3D tiskárně. Díky tomu bylo rameno velice stabilní a umožnilo mi dosáhnout co nejpřesnějších výsledků měření.

# Vlastní zpracování práce

## 1 Ultrazvuk

Stejně jako slyšitelný zvuk je ultrazvuk ve fyzikální podstatě vlnění. Frekvence ultrazvuku je však za hranicí slyšitelného zvuku a to od 20 KHz výše, to znamená, že jeho vlnová délka je výrazně nižší. Díky tomu je ultrazvuk jen málo ovlivněn ohybem. Další výhodou ultrazvuku je nízké pohlcování odrazovým materiálem, ať už se jedná o vodu, vzduch či jiné předměty. Na opačné straně spektra je infrazvuk (zvuky nižší 20 Hz). Nejčastějším zdrojem ultrazvuku je mechanické kmitání, v přírodě toto kmitání vzniká v krystalech křemene a to díky jevu zvaném jako elektrostriktce, který spočívá ve změně velikosti vlivem vnějšího elektrického pole. Ale i některá zvířata jsou schopna ultrazvuk vydávat. Ultrazvukové senzory se v automatizaci používají už přes 30 let, v poslední době dochází k velkému rozšíření těchto systémů díky klesající ceně a zmenšování rozměrů samotného senzoru. Měníč, který vysílá vlny, používá piezo-keramický materiál pro generování mechanických vibrací. Aby bylo dosaženo nejlepšího spojení je zapotřebí přizpůsobit akustickou impedanci podle vzorce.(1) [6]

$$Z_a = \sqrt{Z_k + Z_l} \quad (1)$$

$Z_k$  odpovídá akustické impedanci měniče a  $Z_l$  odpovídá akustické impedanci prostředí.

$$Z_l = \rho \cdot C_{\text{média}} \quad (2)$$

Pokud tato rovnost bude platit, senzor bude zachytávat nejlepší možné odrazy šířící se médiem.

### 1.1 Využití ultrazvuku.

V praxi má ultrazvuk velké využití a to hlavně v následujících oborech.

Sonar – Námořnický sonar pracuje na stejném principu jako testovaný ultrazvukový senzor. Sonar je používán pro podrobné mapování dna oceánu. Rychlost ultrazvuku je ve vodě čtyřikrát rychlejší, než na vzduchu ( $1484 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Po vyslání pulsu (ping) je detekování odraz, ze kterého je sestaven 3D povrch dna. Přičemž jsou barevně odstupňovány jednotlivé hloubky. Tato metoda průzkumu se často používá při pokládání datových a silových kabelů. Sonary můžeme dělit na aktivní a pasivní, výše popsany a mnou používaný senzor patří mezi aktivní. Princip pasivního senzoru spočívá v poslouchání po zdrojích ultrazvuku. Často se používá k lokalizaci zvířat.

Lékařství (sonografie) – Jedná se o neinvazivní metodu vyšetření. Na určitou část těla je sondou vyslán ultrazvuk, ten se odráží od orgánů zpět do přijímače. Naměřená data jsou poté vyobrazena do dvourozměrného obrazu.

Echolokace – lokalizace objektu v prostoru pomocí ultrazvuku. Vyslaná vlna postupuje prostorem až k objektu, od kterého se odráží. Odraz tohoto signálu je zachycen přijímačem. Tohoto principu využívá právě senzor SFR08.

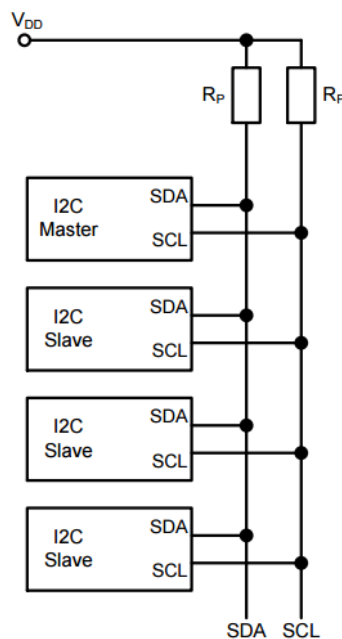
Čištění ultrazvukem – Spočívá v ponoření objektu do vany s kapalinou, ve které se šíří ultrazvukové vlny. Po dopadu vlny na objekt se na jeho povrchu vytvářejí mikroskopické bubliny. Po určité době bubliny explodují, čímž odstraňují nechtěný materiál usazený na povrchu. Tomuto procesu se říká kavitace. Tento způsob čištění je rychlý a velmi efektivní.

Defektoskopie – Jedná se o nedestruktivní testování materiálu či výrobku. Na určený objekt jsou sondou vysílány ultrazvukové pulzy, které se šíří materiálem. Při průchodu vlnění případnou prasklinou dochází k odrazu, který je sondou zobrazen a převeden na elektrickou veličinu. Nejčastěji se tato metoda aplikuje na kontroly vad materiálu, kontroly svarů, detekce únavových prasklin, nebo třeba jako kontrola tloušťky materiálu.[1]

U nízko-výkonových zařízení jako třeba ultrazvukový senzor nehrozí žádná nebezpečí na lidský organismus, pokud jsou jejím vlivům vystaveny po krátkou dobu. Při delším vystavení může docházet k bolestem hlavy, únavě či malátnosti. Trvalé působení ultrazvuku však může mít fatální následek.

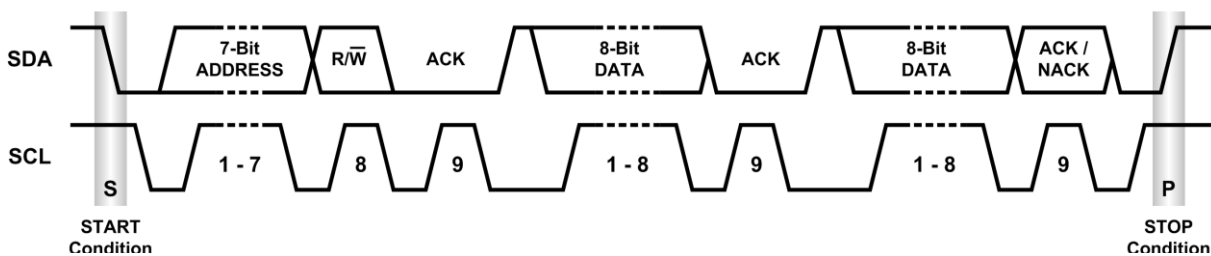
## 2 I<sup>2</sup>C

Sběrnice byla vytvořena firmou Philips v 80. letech. I<sup>2</sup>C (interní integrovaný obvod) umožňuje propojení periférií (slave) s řídicím uzlem (master). Tato sběrnice je dnes nejvíce používaná pro komunikaci integrovaných obvodů v rámci jedné desky plošných spojů. Její klidový stav je v logické jedničce. Původně byla sběrnice konstruována na napětí 5V. Díky zařízením, které mění napětí 5V na 3,3V (level shifter), je možné pracovat i s ostatními standardy jako je třeba 3,3V nebo 1,8V. Musíme však zajistit, aby všechna zařízení připojená ke sběrnici byla schopna s touto napětí 3,3V úrovni pracovat. Jedná se o polo duplexní synchronní sběrnici, tudíž je potřeba kontrolovat a řídit přístup ke sběrnici. Na jedno řídicí zařízení může být připojeno několik periférií, může zde být připojeno i více řídicích zařízení musí však být specifikován komunikační protokol mezi těmito uzly, aby nedocházelo ke kolizím. Pokud nastane kolize, je vybráno jedno řídicí zařízení a jeho zpráva nebude narušena, zpráva druhého zařízení master se musí odvíjet znovu, této proceduře se říká arbitráž. Sběrnice má dvě základní vedení. SDA (sériová data) slouží k přenosu dat a SCL (hodinový signál) udává, kdy se mají data číst. Jelikož sběrnice má hodinový signál jedná se o synchronní sběrnici. Přenosové rychlosti dosahují 3 až 4 Mbps, tato rychlost je dána frekvencí hodinového signálu zařízení master. V této práci je použit standardní mód s přenosovou rychlostí 100 Kbps. Linky sběrnice jsou neukončené, proto je třeba přidat pull-up rezistory, které zajišťují, aby po uvolnění linky se napětí 3,3V úroveň opět zvedla na napájecí napětí. Sběrnice má omezenou délku vodičů, jejich kapacita nesmí přesáhnout 400pF, jinak dochází ke zkreslování signálu, poté je obtížné rozeznat jednotlivé napětí 3,3V úrovně. To se dá kompenzovat snížením pull-up rezistorů a to tak aby protékal dostatečný proud, který stihne nabít sběrnici do stavu logické 1 v čase vymezeném hodinovým signálem.[4]



Obrázek 1. Sběrnice I2C [Obr. 1]

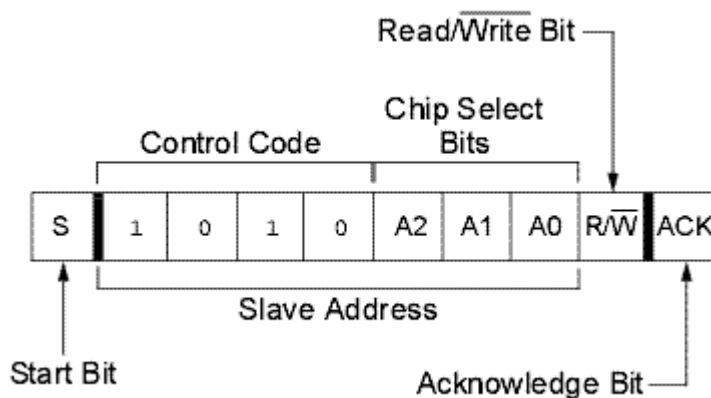
Na obrázku je zapojení řídicího zařízení s několika periferiemi, aby nedocházelo ke ztrátě dat, je zaveden protokol, který každé periférii přiřadí adresu. Velikost zprávy také specifikuje, kolik zařízení může být na sběrnici připojeno. V případě 7 - bitové zprávy je maximální počet zařízení omezen na 127, pokud zvolíme 10 - bitovou velikost zprávy počet adres se značně zvýší a to až na 1024 zařízení. Ve zprávě vyslané řídicím zařízením je tato adresa obsažena. Jako většina sběrnic má i sběrnice I<sup>2</sup>C vyhrazené adresy jako například adresa 0000010X, která je vyhrazena pro odlišné komunikační protokoly na stejné sběrnici. Po vyslání zprávy periferie s danou adresou stáhne signál na linkách SDA a SCL na nulu. To je provedeno pomocí dvou pull-up rezistorů připojených na napájení. Obvyklá velikost těchto rezistorů je 2,2 K $\Omega$  pro přenosovou rychlost 100 Kbps. Každé zařízení připojené na sběrnici může signál vysílat i přijímat ne však najednou.



Obrázek 2. Přenos zprávy na sběrnici [2]

V počátečním stavu jsou obě linky na úrovni logické jedničky, v okamžiku změny signálu na lince SDA řídicí zařízení začne vysílat zprávu a to od nejvýznamnějšího bitu. Logická hodnota bitu musí být stabilní po celou dobu pulsu na lince SCL. Takto je odvysíláno všech 8 bitů až po nejméně významný bit. Po odvysílání zprávy řídicí zařízení vyšle devátý puls a uvolní SDA linku. Periferie stáhne logickou úroveň na nulu. Takzvaný ACK bit je určitá odpověď vyslaná zařízením, které

sloužilo jako posluchač. ACK znamená (acknowledged), že zařízení zprávu přijalo. Pokud periferie nestáhne logickou úroveň na nulu, jedná se o NACK (not acknowledged), což znamená nepotvrzeno. To může být způsobeno několika důvody. Periferie může být zahlcena nebo odpojena od sběrnice. Nebo došlo ke ztrátě dat a periferie jim nerozumí. Poté master zvedne logické úrovně na obou linkách na hodnotu logické jedničky, což značí ukončení přenosu. Linky se vrátí do původního stavu.



Obrázek 3. Přenos jednoty byte [Obr. 6]

### 3 Ultrazvukový senzor SFR08

Standardní senzor pro měření vzdálenosti od 3 centimetrů až do 6 metrů. Je napájen 5 V, proudový odběr je 3 mA při „stand by“ režimu a 15 mA při měření vzdálenosti. Senzor vyšle 8 zvukových impulzů s frekvencí 40 KHz takzvaný „ping“ a měří čas do příchodu ozvěny neboli „echo“. Senzor má pět pinů pro připojení. První pin je pro napájení 5 V, druhý a třetí je vyhrazen na sběrnici I<sup>2</sup>C (SDA a SCL). Třetí pin slouží pro naprogramování čipu, to je provedeno výrobcem, tudíž na tento pin nic připojeno nebude. Poslední pin je zem (GND). [5] [7]



Obrázek 4. Ultrazvukový senzor SFR08 [Obr. 7]

Senzor neobsahuje žádné krytí, proto není vhodným senzorem do průmyslového prostředí. Aby bylo možné ho použít bylo by zapotřebí senzor opatřit krycím pouzdem, nejlépe s normou krytí IP68. Jednou z dalších nevýhod je vznik slepého místa mezi vysílačem a přijímačem. Což je také patrné z níže uvedených charakteristik. Za další nevýhodu by se dalo považovat nemožnost použití více senzorů najednou, jelikož by docházelo k vzájemnému rušení a znehodnocení tak změřených hodnot. Možným řešením tohoto problému by bylo střídavé měření všech senzorů. Rychlost zvuku se vypočte podle vzorce (3).

$$C = C_0 \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3)$$

$C_0$  odpovídá hodnotě  $331,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $T$  je teplota okolního prostředí a  $T_0$  teplota při  $0^\circ\text{C}$ . Z tohoto vzorce je patrné, že rychlost zvuku je závislá na teplotě okolního prostředí. Senzor SFR08 je kalibrován do prostředí s pokojovou teplotou, při použití v prostředí s vyšší nebo nižší teplotou bude naměřený údaj chybný. Toto by se dalo ošetřit přidáním teplotního snímače a dopočítáváním rychlosti zvuku v aktuálním prostředí na základě změřených hodnot z teplotního čidla. [6]

### 3.1 Princip funkce

Řekněme, že potřebujeme zachytit objekt vzdálený 10 centimetrů od našeho senzoru. Víme, že rychlost zvuku v normálním prostředí je  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Časovač, který je umístěn na desce plošného spoje měří čas od vyslání prvního měřicího signálu až do příchodu odrazu a to v mikro sekundách. Poté podle jednoduchého vzorce je vypočtena vzdálenost. Pro náš případ tedy platí:

$$v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 0,034 \text{ cm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$$

$$t = 588,23 \mu\text{s}$$

$$s = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{340 \cdot 588,23 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,0999 \text{ m}$$

### 3.2 Adresování a registry

Adresování slouží pro rozlišení jednotlivých senzorů na sběrnici. Na linky SDA a SCL můžeme připojit až dvanáct těchto senzorů, jejich adresy budou následovné (E0, E2, E4, E6, E8, EA, EC, EE, F0, F2, F4, F6, F8, FA, FC, FE). Pokud je připojen pouze jeden senzor jeho adresa je obvykle E0. Senzor SFR08 má sadu 36 registrů, které slouží pro ovládání a uložení změřených hodnot. Na nulté pozici je příkazový registr, do kterého je možno zapsat tyto příkazy:

Tabulka 1. Seznam příkazů pro ovládání senzoru [5]

| Příkaz |      | Akce   |
|--------|------|--|
| DEC    | HEX  |  |
| 80     | 0x50 | Inicializace měření pro palce                          |
| 81     | 0x51 | Inicializace měření pro centimetry                     |
| 82     | 0x52 | Inicializace měření pro mikrosekundy                   |
| 83     | 0x53 | Inicializace měření s neuronovou sítí pro palce        |
| 84     | 0x54 | Inicializace měření s neuronovou sítí pro centimetry   |
| 85     | 0x55 | Inicializace měření s neuronovou sítí pro mikrosekundy |
| 160    | 0xA0 | První příkaz sekvence pro změnu adresy                 |
| 165    | 0xA5 | Druhý příkaz sekvence pro změnu adresy                 |
| 170    | 0xAA | Třetí příkaz sekvence pro změnu adresy                 |

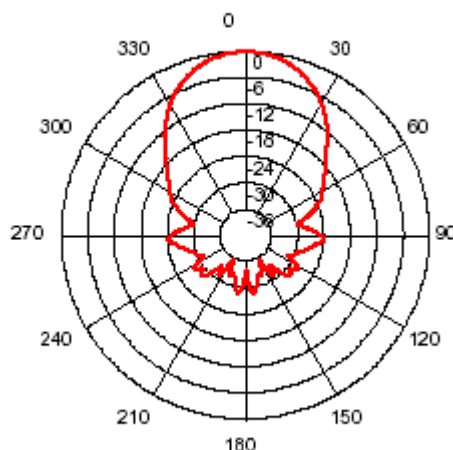
Při čtení z registru na druhé pozici dostaneme informace ze senzoru světla umístěného mezi mikrofonem a reproduktorem. Zápis nám umožňuje ovládat analogové zesílení senzoru, základně je nastaveno na maximální rozlišení. Můžeme zde ale zapsat hodnotu od 0 do 1025, tento interval je rozdělen do 31 úseků. Registrem na druhé pozici lze ovládat rozsah měření, to se hodí v případě, že potřebujeme měřit rychleji, než je základní doba 65ms. Čtením z této pozice dostaneme informaci o vzdálenosti ať už v centimetrech, palcích nebo mikrosekundách. V případě, že se v tomto registru zobrazí nula, znamená to, že měřený objekt je mimo rozsah. Ostatní registry slouží pro případné ozvěny. Tyto registry jsou pouze v módu čtení. [5]

Pokud chceme změnit adresu senzoru, musíme odpojit od sběrnice všechny ostatní zařízení. Poté se zapíše sekvence tří příkazů zakončených novou adresou senzoru. Předpokládejme, že aktuální adresa senzoru je 0xF0 a my ji chceme změnit na 0xF2. Na adresu 0xE0 zapíšeme sekvenci 0xA0, 0xAA, 0xA5, 0xF2. Příkazy musí být zaslány v přesně daném pořadí a nesmí být přerušeny jiným příkazem. Při případné ztrátě adresy není třeba adresu znova měnit, stačí po připojení napájení k senzoru sledovat diodu, která zobrazí aktuální adresu senzoru.

### 3.3 Přesnost a charakteristika

Výrobce udává, že přesnost měření se pohybuje okolo 30 až 40 mm. Ve skutečnosti by ale tato nepřesnost měla být menší. Je zde spousta faktorů, které mohou ovlivnit přesnost měření. Rychlost zvuku je  $346 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  při 24 °C. Při 40 KHz se vlnová délka vyslaného pulsu pohybuje okolo 8,65 mm. Senzor detekuje tyto příchozí vlny. Vlny mají náběžný charakter, po dosažení špičky opětovně ustávají. Záleží na tom, která vlna bude dostatečně silná, aby byla zachycena senzorem. Což může být první, druhá nebo až třetí. To může způsobovat poskakování změřené hodnoty na čelním panelu. Dalším způsobem ovlivnění výsledku může být takzvaný fázovací efekt. Jako příklad jde uvést měření na velké stěně. Vlna se odrazí od nejbližšího bodu na stěně, ale také od těch vzdálených. Vzdálenější odrazy budou cestovat vzduchem o trochu déle než odrazy ze středu stěny. Senzor udělá průměr těchto hodnot, což se bude pravděpodobně lišit od skutečné vzdálenosti od stěny.

Tvar charakteristiky je kuželovitý a je pevně daný. I přes to, že výrobce udává, že úhel směrové charakteristiky je  $55^\circ$  v praktickém použití je však tento úhel znatelně menší. Výrobce udává, že není žádný způsob jak omezit šířku charakteristiky, já se však zabývám tím, jaký vliv bude mít na charakteristiku omezení analogového zesílení, věřím, že charakteristika bude znatelně ovlivněna. Pokud potřebujeme značně zúžit tvar, stálo by za uvažování změna senzoru z SFR08 na SFR235, jehož úhel směrové charakteristiky se pohybuje okolo  $15^\circ$ . [5]



Obrázek 5. Charakteristika SFR08 udávaná výrobcem [Obr. 4]

### 3.4 ANN MOD

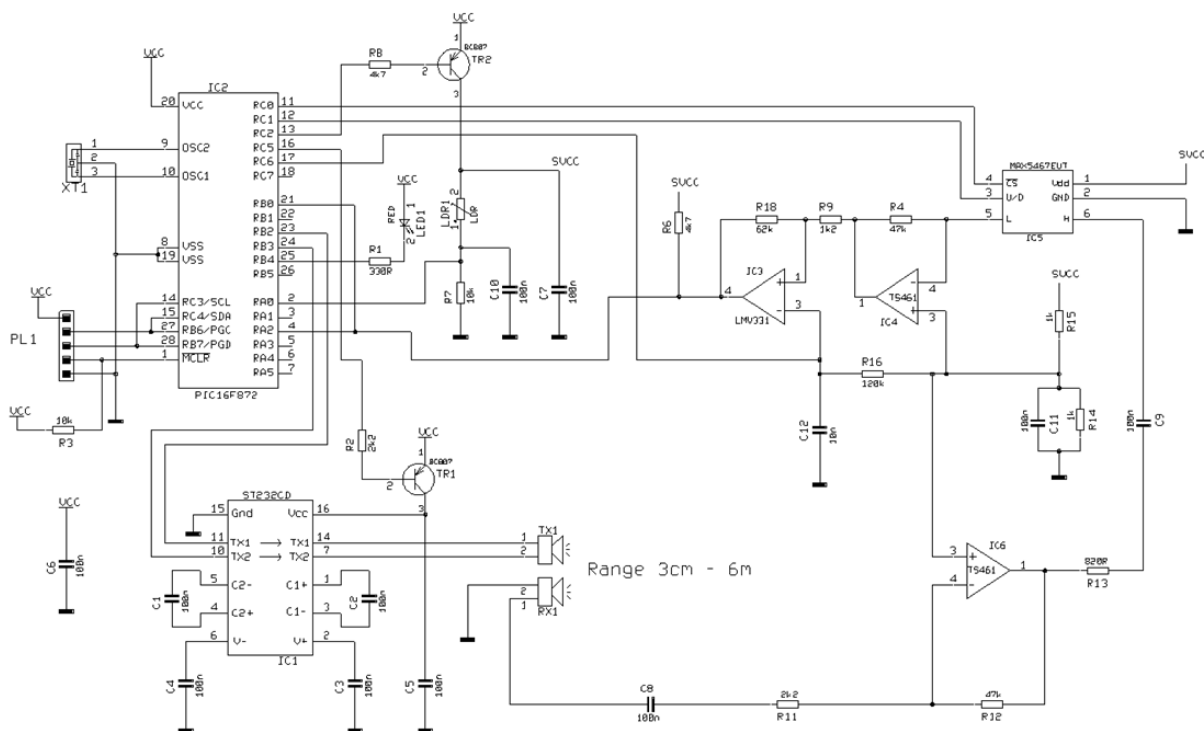
Je zkratka pro umělou neurální síť. Tento mód poskytuje data z měření tak, aby byly snadno implementovatelné do neuronové sítě, také efektivně upravuje rozsahy měření a analogového zesílení, to je prováděno automaticky. Zbytek registrů slouží pro uložení dat do 32 úseků, kdy každý z nich odpovídá vzdálenosti 352 mm. Pokud je ozvěna přijata v čase odpovídající této vzdálenosti, je na příslušné místo v registru zapsána jednička jinak nula. Například pokud je vzdálenost do 352 mm, bude v registru na čtvrté pozici zapsána jednička. Pokud je objekt vzdálen 3 m, na dvanáctém registru bude jednička. Takto vyjádřená data by měla být vhodnější pro implementování do neuronové sítě.

### 3.5 Popis DPS a funkce

Na desce plošného spoje je umístěn osmibitový mikrokontrolér PIC16F872, který řídí celý proces měření. Tento 28 pinový čip má 128 bytovou paměť RAM a 64 bytovou EEPROM paměť. Je schopen zachytávat vstupní signály až o frekvenci 20 MHz. Mikrokontrolér obsahuje dva osmibitové a jeden šestnáctibitový časovač. V obvodu je také umístěn porovnávací a PWM modul. Pro převod do digitálního tvaru slouží pěti-kanálový desetibitový A/D převodník. V hlavní smyčce operačního systému jde vyvolat až deset přerušení. Přes obvod ST232CD, který slouží pro převod na vyšší napětíovou logiku pro sběrnici RS232 a NPN tranzistor dochází k vyslání osmi pulsů. Operátor IC3 s kladnou vazbou je tvarovač signálu, který udělá z přijímaného signálu ostrou hranu, pomocí níž se vyhodnocuje doba odrazu a tedy i měřená vzdálenost. OZ IC4 plní funkci proměnného zesílení, zesílení se mění změnou poměrů statického a digitálního rezistoru. Pasivní filtry sestavené z RC členů



slouží pro odfiltrování rušení a vyšších kmitočtů. Čas od vyslání pulsů do přijetí se měří přes krystalový oscilátor ve schématu zapojení označován jako XT1. Senzor intenzity světla (fotodioda) ve schématu označen jako LDR1 je připojen k mikrokontroléru přes tranzistor, který přivádí na fotodiodu napětí. Úbytek napětí je pak změřen mezi dvěma vývody mikrokontroléru. Hodnota čtení ze senzoru se zvětšuje s přibývajícím jasnem až na maximální hodnotu 248. Při dokonalé tmě by hodnota měla být 2 až 3.



Obrázek 6. funkční schéma senzoru SFR08 [Obr. 5]













## 4 Matlab

Matlab je výpočetní software používaný už přes 25 let. Patří mezi jazyky vyšší vrstvy, slouží pro jednoduché vyjádření vědeckých nápadů. Programovací jazyk Matlabu je používán většinou technických univerzit po celém světě. Je založen na silných základech matematiky, lze ho využít pro řešení mnoha úloh z lineární algebry, zpracovávání signálů a obrazů, analýzy dat, řídicích systémů a mnoho dalších oborů. Dnes je Matlab používán více než miliónem vědců a inženýrů jako běžný jazyk pro sdílení nápadů nebo spolupráci. Hlavním využitím je však simulační prostředí, což umožňuje uživateli rychlejší pokrok a snížení nákladů na výrobu fyzického modelu. Po spuštění Matlabu má uživatel k dispozici plochu, ve které může vytvářet a spouštět funkční skript, proměnné deklarované v tomto skriptu jsou umístěny do workspace, odkud jsou dále k dispozici. Velkou výhodou matlabu je spousta rozšiřujících aplikací, za nejužitečnější aplikaci považují aproximační nástroj, který uživateli vytvoří nejvíce vhodnou aproximaci, nebo podle specifikací uživatelem. Aplikace dokáže výsledek poté přeložit do funkčního skriptu, nebo data uložit.[3]

## 5 LabVIEW

Je program, který slouží k vytváření virtuálních měřících přístrojů. LabVIEW byl založen v roce 1986 firmou National Instruments. Programování je na úrovni jazyka C, ale v grafické podobě od toho tedy G-kód. Po založení nového projektu se zobrazí dvě okna, jedno reprezentuje uživatelské rozhraní (čelní panel) a druhé znázorňuje funkci kódu (blokový diagram).

Tok programu je dán pravidlem: Pokud má blok na všech svých vstupech platná data, provede svou funkci a data předá na všechny své výstupy. Výhodou toho je jednoduché paralelní zpracovávání, naopak nevýhodou je potřeba ošetření sekvenčního běhu. Každé VI má možnost specifikace konektoru a ikony pro případ použití jako subVI. To lze provést přetažením vytvořeného VI do blokového diagramu jiného VI. Funkce a jednotlivé objekty vkládáme na čelní panel z paletového menu prvků, které jde vyvolat kliknutím na pravé tlačítko myši. Umístěné funkce jsou vždy reprezentovány takzvaným terminálem v blokovém diagramu, to však neplatí pro dekorace čelního panelu. Každý terminál má úchyty, na které je možné připojit vodič, je dobrým pravidlem, aby vstupní hodnoty vstupovaly do terminálu zleva a výstupní byly přivedeny na pravou stranu. Terminály mohou být dvojího typu, ovládací a indikační prvky. Ovládací prvky slouží k pořizování hodnot uživatelem, naopak indikátory zobrazují vypočtené, naměřené hodnoty na čelní panel. Barvy vodičů ukazují, jaké datové typy bude vodič přenášet. Základní vodiče a jejich datové typy jsou vyobrazeny v níže uvedené tabulce. V případě propojení dat různých datových typů je vodič označen jako neplatný a je přerušen. Řízení programu a ladění se ovládá v horní liště. Tlačítkem běh označené šipkou lze program spustit, po provedení se běh ukončí, tlačítkem cyklický běh je možné VI neustále opakovaně spouštět a červeným tlačítkem abort lze běh neprodleně zastavit. Funkce napravo od dříve popsanych funkcí slouží ke krokování a ladění programu, je také možné zobrazit hodnoty při průchodu.[2]

| typ vodiče                | skalár  | 1D pole   | 2D pole   | barva    |
|---------------------------|---|---|---|----------|
| Numeric (reálné číslo)    |  |  |  | oranžová |
| Numeric (celé číslo)      |  |  |  | modrá    |
| Boolean (logická hodnota) |  |  |  | zelená   |
| String (textový řetězec)  |  |  |  | růžová   |

Obrázek 7. Datové typy vodičů [Obr. 8]

V této práci je komunikace po sběrnici realizovaná v programu LabVIEW. Využil jsem měřicí kartu USB NI-8451 právě od firmy LabVIEW. Karta NI USB-8451 je plně rychlostní zařízení připojné do USB 2.0. Poskytuje sběrnici I<sup>2</sup>C až do rychlosti 250 KHz a SPI do rychlosti 12 MHz. Spolu s těmito linkami obsahuje také osm dalších více účelových vstupně výstupních linek. Pro správné připojení sběrnice jsem využil piny 32 což je zem, 31 je připojená na 5 V napájení. Pin 30 a 29 je vyhrazen pro linky sběrnice I<sup>2</sup>C. Následují dva piny označeny jako NC (nepřivádět signál). Na dalších dvou pinech je připojena zem. Piny 24 až 17 označeny P0.X jsou víceúčelové vstupně-výstupní digitální piny, které lze libovolně programovat.



Obrázek 8. Měřicí karta NI-8451 [Obr. 3]

## 6 Praktická část

### 6.1 Popis měřicí aplikace

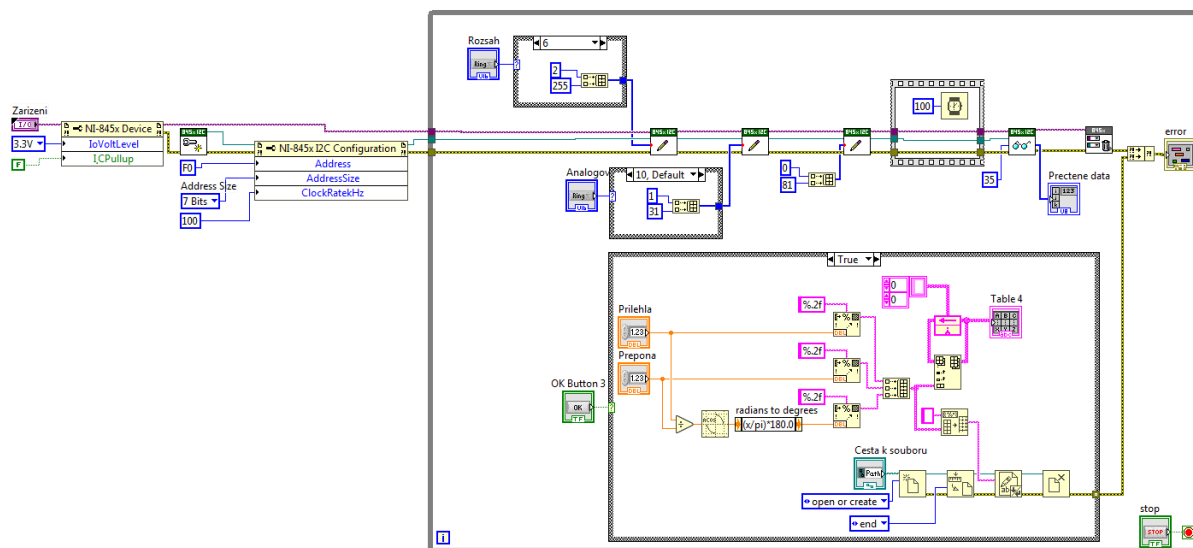
Pro vytvoření aplikace bylo potřeba do LabVIEW nainstalovat knihovnu NI-8451, která je k dispozici na hlavních stránkách NI Instruments. Začal jsem s přidáním property node do kterého jsem nastavil hladinu napětí, jméno zařízení propojeného na COM a zda má interní pull-up rezistory. Poté následuje blok, který vytvoří základní komunikaci pro předem specifikované parametry. Druhým property node jsem nastavil komunikační rychlost, adresu na které se nachází náš slave (F0) a velikost adresy. Dále následuje cyklus, ve kterém bude neustále probíhat měření. První jsem začal s nastavením rozsahu měření. To bylo provedeno pomocí struktury Case, kde jsem zapisoval hodnoty v rozsahu 0 až 255 na adresu 2. Výpočet je proveden podle vzorce (4).

$$s = (n \cdot 41) + 41 \quad (4)$$

Kde  $n$  číslo v daném rozsahu. Číslo jsem zapsal na sběrnici pomocí bloku Write z knihovny NI-8451. Obdobně jsem provedl i analogové zesílení. Jelikož nepoužívám ANN mód je po zapnutí automaticky nastavena hodnota 31, což odpovídá maximálnímu zesílení 1023. Dále jsem provedl inicializaci měření, opět jsem zapsal na sběrnici tentokrát číslo 81 na adresu 0. Poté je třeba počkat v technické dokumentaci senzoru je uvedena hodnota 65ms v mojí aplikaci je nastaveno čekání na 100ms. Teď už zbývá pouze vyčíst hodnoty a to blokem Read. Tomuto bloku musíme říct, kolik bytů má číst a kam je má uložit. V našem případě čte 35 bytů a ukládá je do pole na čelním panelu. Poté jsem uzavřel komunikaci a vypsál případné chybové hlášky.

Ukládání do souboru je vyřešeno pomocí struktury větvení. Proveďte se v případě, že uživatel stiskne tlačítko. Jelikož data zapisuje uživatel, nejde o velké množství dat, opakované otevírání a souboru zavírání nebude mít vliv na časovou odezvu programu. Vyčtou se dvě hodnoty ve formě double, z nich se vypočte třetí hodnota a to je hledaný úhel. Tyto hodnoty se zaokrouhlí na dvě desetinná místa a převedou na formát string, poté je z nich vytvořeno pole, které je přidáno k poli z předešlého měření. Celé pole se vypisuje na čelní panel a zároveň se s každým novým měřením ukládá do textového souboru. Samotné uložení je sestaveno s bloků Create, Set Position, Write a Close. Blok Create vytvoří na uživatelem zadané lokaci textový soubor. Nastavil jsem mu parametr, který vytvoří soubor

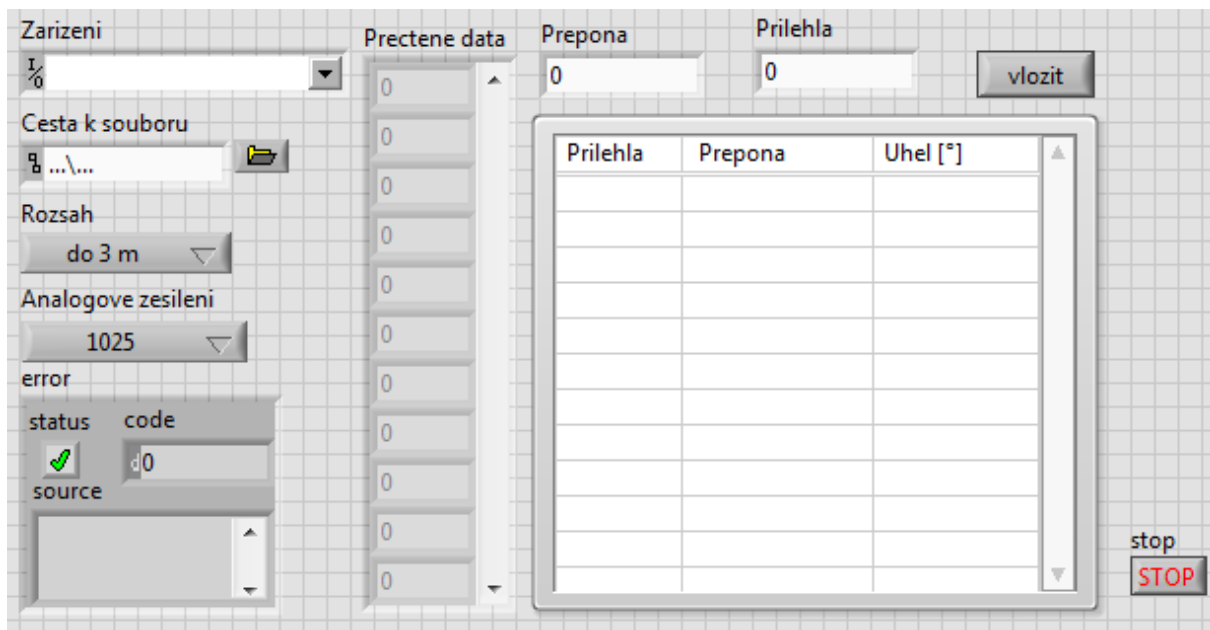
nebo pokud ho nalezne tak ho otevře. Blok Set Position nastaví kurzor na zvolenou pozici určenou k zápisu. My jsme zvolili zapisování na konec souboru. Bloku Write předáme data, které chceme zapsat a blok Close zavře otevřený soubor.



Obrázek 9. Měřicí aplikace

## 6.2 Popis čelního panelu

Uživatelské rozhraní pro ovládání měřicí aplikace jsem navrhnul na čelním panelu v programu LabVIEW. Vlevo nahoře je umístěno výběrové okno, které slouží pro výběr připojeného zařízení. V našem případě to bude měřicí karta NI-8451. Pod ním je další okno, do kterého se wpisuje cesta k textovému souboru pro ukládání dat z měření. Implicitní cesta je na soubor SFR08\_data.txt, který se vytvoří na ploše. Dále se tam nachází dva výčtové prvky typu Ring. Vrchní ring slouží k nastavení rozsahu. Rozsahy jsou zvoleny po jednom metru až do maximální měřicí vzdálenosti senzoru. Druhý ring je pro výběr analogového zesílení v rozsahu od 0 až do 1025, jejich rozmezí jsem volil náhodně v pravidelných intervalech. Následuje okno pro vypisování chyb neboli error cluster. V případě, že dojde k chybě, například zadání špatné cesty k souboru se do tohoto okna vypíše informace o chybě. Tato informace se hodí při ladění chodu programu. Uprostřed čelního panelu je pole, do kterého se vyčítají registry ze senzoru. Podle nastaveného rozsahu se mění délka pole. Vpravo nahoře jsou dva ovládací prvky, do kterých se zadávají změřené a nastavené vzdálenosti a tlačítkem vložit je možné je přidat do tabulky. Pod těmito prvky se nachází tabulka, do které se zapisují změřená data. Sloupec přilehlá a přepona odpovídá datům nastaveným do výše umístěných oken. Poslední sloupec s názvem úhel je dopočítáván podle předchozích sloupců funkcí  $\arg$  a  $\cos$ . Tlačítkem STOP je možné nouzově ukončit chod celé aplikace.



Obrázek 10. Čelní panel měřící aplikace

## 7 Naměřené data

Měření bylo provedeno pro dvanáct různých směrů od sebe vzájemně posunutých o 30° stupňů. Když zanedbáme odchylku měření, z charakteristik je patrné, že se jedná o téměř dokonalý kužel. Další dvě tabulky vyobrazují vliv analogového zesílení na směrovou charakteristiku senzoru. Z dat vyobrazených v grafech je jasné patrné, že se zvyšujícím analogovým zesílením se zvyšuje také úhel této charakteristiky. 3D grafy znázorňují směrovou charakteristiku v prostoru

### 7.1 Analýza a zpracování naměřených dat

Pro zpracování naměřených dat jsem použil prostředí MATLAB, do kterého jsem data převedl z Excelu. Vykreslení grafu pro srovnání příčné a podélné charakteristiky jsem použil funkci plot, které jsem předal změřená data. Provedl jsem správné nastavení os a zapnul mřížku. Obdobně jsem zobrazil data pro grafy, které porovnávají směrové charakteristiky při různých analogových zesíleních. Funkcí hold on jsem specifikoval, že v grafu bude více než jedna funkce. Pro ostatní grafy jsem zvolil lineární aproximaci. Aproximaci jsem provedl dvěma způsoby, abych si byl jistý, že výsledek je správný. V prvním způsobu jsem využil toho, že známe rovnici přímky (5).

$$y = kx + q \quad (5)$$

Přičemž naše hledané body jsou  $k$  a  $q$ . Pro výpočet rovnice jsem si vytvořil nový soubor, který bude použit jako funkce, je důležité, aby byl soubor pojmenován jako naše funkce a uložen do stejného adresáře jako program ve kterém bude volána. Do tohoto souboru jsem zapsal výpočet výše uvedené funkce s předanými parametry. Funkci jsem následně zavolaal v našem hlavním programu ve funkci lsqcurvefit, předal jsem jí také počáteční bod a data se kterými má počítat. Tato funkce nám do proměnné vrátí nejlepší aproximaci dat. Poté je třeba nastavit rozsah na ose  $x$ , ve kterém se má

aproximace počítat. Opětovným zavoláním funkce vypočtu souřadnici y. Graf už stačí pouze vyobrazit se správnými popisky os.

Druhý způsob aproximace je znatelně jednodušší, využívá už předem do Matlabu zabudované funkce polyfit. Této funkci stačí předat data a stupeň polynomu a ona sama vypočítá nejlepší bod. Data jsem si uložil do pole, s těmito daty jsem pracoval dle výše uvedené rovnice pro přímku. Data jsem opět předal funkci pro vykreslování grafu a zobrazil je. Do těchto grafů jsem také zobrazil jednotlivé body z měření pro porovnání. Upozorňuji, že níže uvedené skripty slouží pouze jako ukázka postupu vytváření grafů, celý skript je k dispozici v přílohách.

```
figure()
plot(pricna_x_1025,vyska,'b')
hold on
plot(podelna_x_1025,vyska,'r')
grid on
title('Srovnání příčné a podélné charakteristiky');
xlabel('Vzdálenost (mm)');
ylabel('Výška (mm)');
xlim([-1000 1000]);
ylim([0 1500]);
legend('podélná','příčná','Location','southeast');

figure();
plot(pricna_x_1025,vyska,'r.')
hold on
plot(podelna_x_1025,vyska,'b.')
ylim([0 1440]);
xlim([-1000 1000]);
grid on;
hold on
CE = polyfit(podelna_x_1025(1:24),vyska(1:24),1)
aprox_podelna_L = CE(1) * podelna_x_1025(1:24) + CE(2);
h1 = plot(podelna_x_1025(1:24),aprox_podelna_L)
hold on
CE = polyfit(podelna_x_1025(24:47),vyska(24:47),1)
aprox_podelna_R = CE(1) * podelna_x_1025(24:47) + CE(2);
plot(podelna_x_1025(24:47),aprox_podelna_R)
```

Pro vyobrazení grafu, na kterém je vyobrazena charakteristika v prostoru jsem použil funkci trisurf, což je vlastně funkce pro vykreslení povrchu. Tato funkce však nepracuje se skalární množinou dat, proto jsem data musel převést na matici dat. To jsem provedl použitím funkce griddata, která interpoluje skalární data. Po vykreslení dat byla charakteristika nepřehledná, proto jsem provedl lineární aproximaci, která charakteristiku znatelně vyhladila. V tomto kroku byla velice užitečná aplikace přidaná do Matlabu. Curve fitting umožňuje jednoduchou a rychlou implementaci většiny aproximací včetně lineární. Úplný kód je zobrazen v příloze.

```

[XI YI ZI] = griddata(x,y,z,linspace(0,1),linspace(0,1)');
figure();
trisurf(delaunay(x,y),x,y,z)
grid on;
xlabel('X (mm)');
ylabel('Y (mm)');
zlabel('Z (mm)');
title('Směrová charakteristika v prostoru');

figure()
f = fit([x, y], z, 'lowess', 'Span', .3);
plot(f, [x,y], z)
zlim([0 1500])
xlabel('X (mm)');
ylabel('Y (mm)');
zlabel('Z (mm)');
title('Lineárně aproximovaná směrová charakteristika v prostoru');

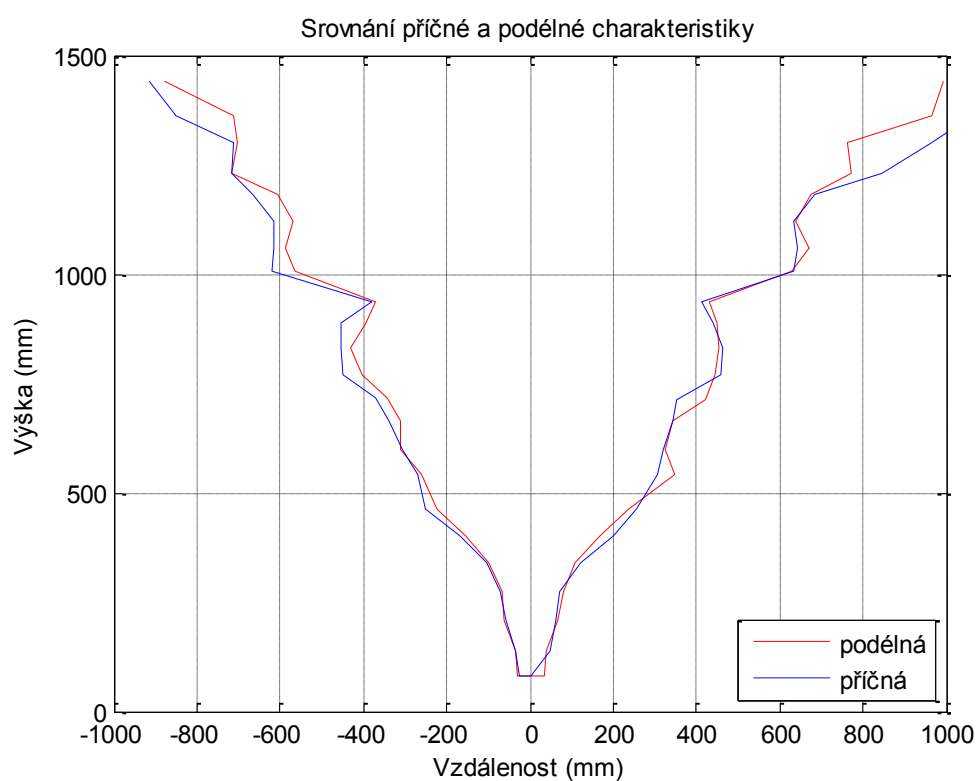
```

## 7.2 Příčný a podélný směr

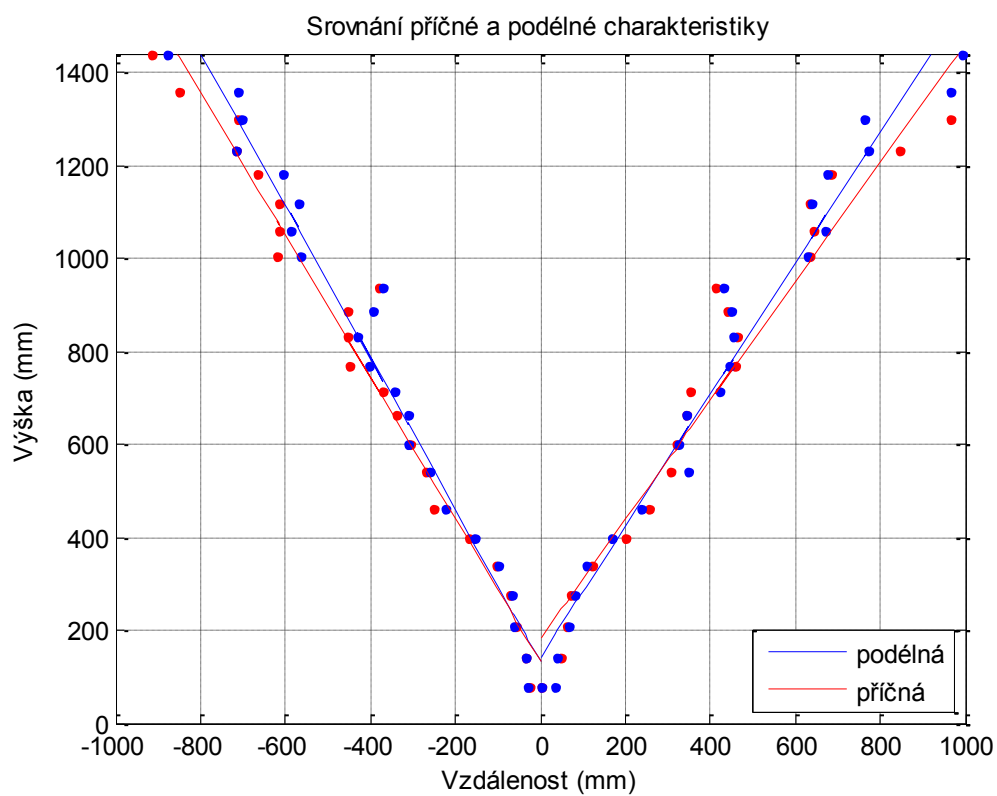
Tabulka 2. Naměřená data pro příčný a podélný směr

| Výška (mm) | Podélná odvěsna (mm) | Přepona (mm) | $\alpha$ (°) | Příčná odvěsna (mm) | Přepona (mm) | $\alpha$ (°) |
|------------|----------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|
| 80         | 35                   | 87,3         | 23,6         | 0                   | 80,0         | 0,0          |
| 140        | 41                   | 145,9        | 16,3         | 53                  | 149,7        | 20,7         |
| 210        | 68                   | 220,7        | 17,9         | 61                  | 218,7        | 16,2         |
| 275        | 82                   | 287,0        | 16,6         | 70                  | 283,8        | 14,3         |
| 340        | 108                  | 356,7        | 17,6         | 121                 | 360,9        | 19,6         |
| 400        | 166                  | 433,1        | 22,5         | 202                 | 448,1        | 26,8         |
| 463        | 238                  | 520,6        | 27,2         | 254                 | 528,1        | 28,7         |
| 540        | 350                  | 643,5        | 32,9         | 308                 | 621,7        | 29,7         |
| 600        | 324                  | 681,9        | 28,4         | 318                 | 679,1        | 27,9         |
| 665        | 344                  | 748,7        | 27,4         | 345                 | 749,2        | 27,4         |
| 715        | 423                  | 830,8        | 30,6         | 351                 | 796,5        | 26,1         |
| 770        | 444                  | 888,8        | 30,0         | 460                 | 896,9        | 30,9         |
| 886        | 453                  | 995,1        | 28,6         | 465                 | 1000,6       | 29,3         |
| 930        | 449                  | 1032,7       | 26,9         | 442                 | 1029,7       | 26,5         |
| 935        | 431                  | 1029,6       | 24,7         | 411                 | 1021,3       | 23,7         |
| 1005       | 629                  | 1185,6       | 32,0         | 633                 | 1187,7       | 32,2         |
| 1061       | 671                  | 1255,4       | 32,3         | 644                 | 1241,2       | 31,3         |
| 1120       | 636                  | 1288,0       | 29,6         | 632                 | 1286,0       | 29,4         |
| 1183       | 674                  | 1361,5       | 19,7         | 685                 | 1367,0       | 30,1         |
| 1230       | 771                  | 1451,7       | 30,8         | 845                 | 1492,3       | 34,8         |
| 1300       | 762                  | 1506,9       | 30,0         | 965                 | 1619,0       | 36,6         |
| 1360       | 964                  | 1667,0       | 33,8         | 1050                | 1718,2       | 37,3         |
| 1440       | 995                  | 1750,3       | 34,7         | 1038                | 1775,1       | 35,8         |
| 80         | -30                  | 85,4         | 20,6         | -25                 | 83,8         | 17,4         |
| 140        | -36                  | 144,6        | 14,4         | -34                 | 144,1        | 13,7         |
| 210        | -62                  | 219,0        | 16,4         | -56                 | 217,3        | 14,9         |
| 275        | -65                  | 282,6        | 13,3         | -73                 | 284,5        | 14,9         |
| 340        | -99                  | 354,1        | 16,2         | -105                | 355,8        | 17,2         |
| 400        | -153                 | 428,3        | 20,9         | -170                | 434,6        | 23,0         |
| 463        | -223                 | 513,9        | 25,7         | -251                | 526,7        | 28,5         |
| 540        | -262                 | 600,2        | 25,9         | -270                | 603,7        | 26,6         |
| 600        | -313                 | 676,7        | 27,5         | -306                | 673,5        | 27,0         |
| 665        | -311                 | 734,1        | 25,1         | -340                | 746,9        | 27,1         |
| 715        | -344                 | 793,4        | 25,7         | -373                | 806,4        | 27,6         |
| 770        | -403                 | 869,1        | 27,6         | -448                | 890,8        | 30,2         |
| 886        | -433                 | 986,1        | 27,6         | -454                | 995,5        | 28,7         |
| 930        | -393                 | 1009,6       | 23,9         | -453                | 1034,5       | 27,1         |
| 935        | -369                 | 1005,2       | 21,5         | -381                | 1009,6       | 22,2         |
| 1005       | -563                 | 1152,0       | 29,3         | -619                | 1180,3       | 31,6         |
| 1061       | -588                 | 1213,0       | 29,0         | -614                | 1225,9       | 30,1         |
| 1120       | -571                 | 1257,2       | 27,0         | -617                | 1278,7       | 28,9         |
| 1183       | -604                 | 1328,3       | 27,0         | -664                | 1356,6       | 29,3         |
| 1230       | -715                 | 1422,7       | 30,2         | -717                | 1423,7       | 30,2         |
| 1300       | -704                 | 1478,4       | 28,4         | -714                | 1483,2       | 28,8         |
| 1360       | -712                 | 1535,1       | 27,6         | -852                | 1604,8       | 32,1         |
| 1440       | -879                 | 1687,1       | 31,4         | -914                | 1705,6       | 32,4         |





Obrázek 11. Směrová charakteristika příčného a podélného směru

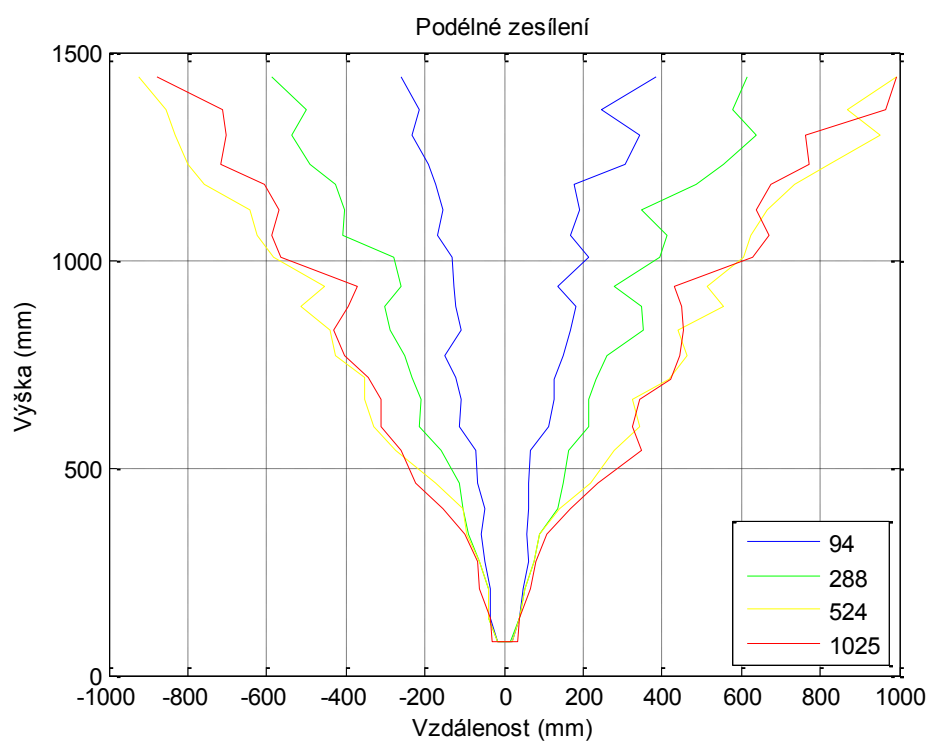


Obrázek 12. Srovnání aproximovaných charakteristik

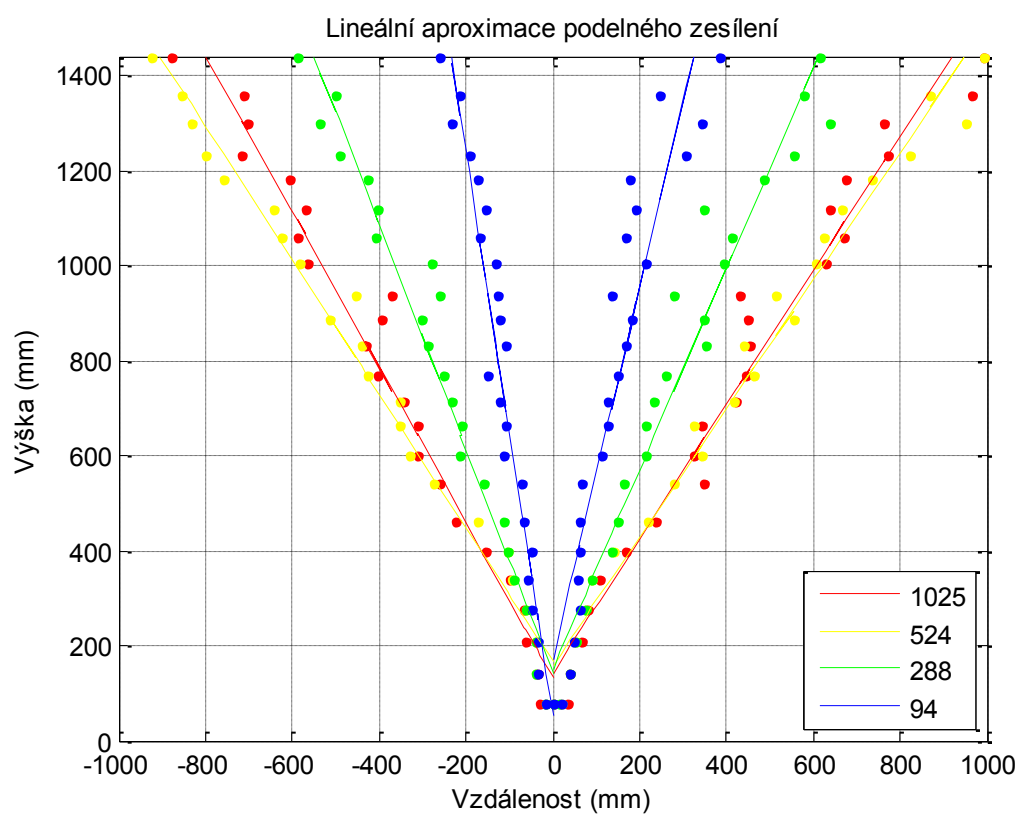
### 7.3 Vliv analogového zesílení na směrovou charakteristiku

Tabulka 3. Naměřená data pro podélný směr

| Výška (mm) | Analogové zesílení      |      |      |      |
|------------|-------------------------|------|------|------|
|            | 94                      | 288  | 524  | 1025 |
|            | Protilehlá odvěsna (mm) |      |      |      |
| 80         | 20                      | 17   | 19   | 35   |
| 140        | 41                      | 39   | 40   | 41   |
| 210        | 48                      | 53   | 52   | 68   |
| 275        | 61                      | 74   | 75   | 82   |
| 340        | 58                      | 92   | 92   | 108  |
| 400        | 63                      | 136  | 140  | 166  |
| 463        | 83                      | 151  | 218  | 238  |
| 540        | 86                      | 164  | 278  | 350  |
| 600        | 114                     | 212  | 343  | 324  |
| 665        | 128                     | 212  | 323  | 344  |
| 715        | 128                     | 233  | 417  | 423  |
| 770        | 148                     | 262  | 464  | 444  |
| 886        | 167                     | 353  | 442  | 453  |
| 930        | 180                     | 348  | 553  | 449  |
| 935        | 134                     | 278  | 515  | 431  |
| 1005       | 215                     | 396  | 608  | 629  |
| 1061       | 167                     | 414  | 624  | 671  |
| 1120       | 193                     | 350  | 668  | 636  |
| 1183       | 178                     | 485  | 735  | 674  |
| 1230       | 308                     | 554  | 821  | 771  |
| 1300       | 343                     | 640  | 950  | 762  |
| 1360       | 248                     | 578  | 868  | 964  |
| 1440       | 383                     | 614  | 992  | 995  |
| 80         | -15                     | -18  | -18  | -30  |
| 140        | -36                     | -40  | -39  | -36  |
| 210        | -34                     | -4   | -41  | -62  |
| 275        | -50                     | -62  | -62  | -65  |
| 340        | -59                     | -92  | -94  | -99  |
| 400        | -50                     | -103 | -104 | -153 |
| 463        | -68                     | -112 | -173 | -223 |
| 540        | -72                     | -158 | -273 | -262 |
| 600        | -113                    | -212 | -328 | -313 |
| 665        | -110                    | -21  | -354 | -311 |
| 715        | -122                    | -234 | -352 | -344 |
| 770        | -150                    | -253 | -424 | -403 |
| 886        | -108                    | -286 | -442 | -433 |
| 930        | -123                    | -303 | -513 | -393 |
| 935        | -125                    | -261 | -453 | -369 |
| 1005       | -133                    | -277 | -582 | -563 |
| 1061       | -168                    | -408 | -624 | -588 |
| 1120       | -155                    | -402 | -641 | -571 |
| 1183       | -172                    | -428 | -758 | -604 |
| 1230       | -193                    | -493 | -798 | -715 |
| 1300       | -232                    | -535 | -833 | -704 |
| 1360       | -313                    | -501 | -854 | -712 |
| 1440       | -260                    | -588 | -922 | -879 |



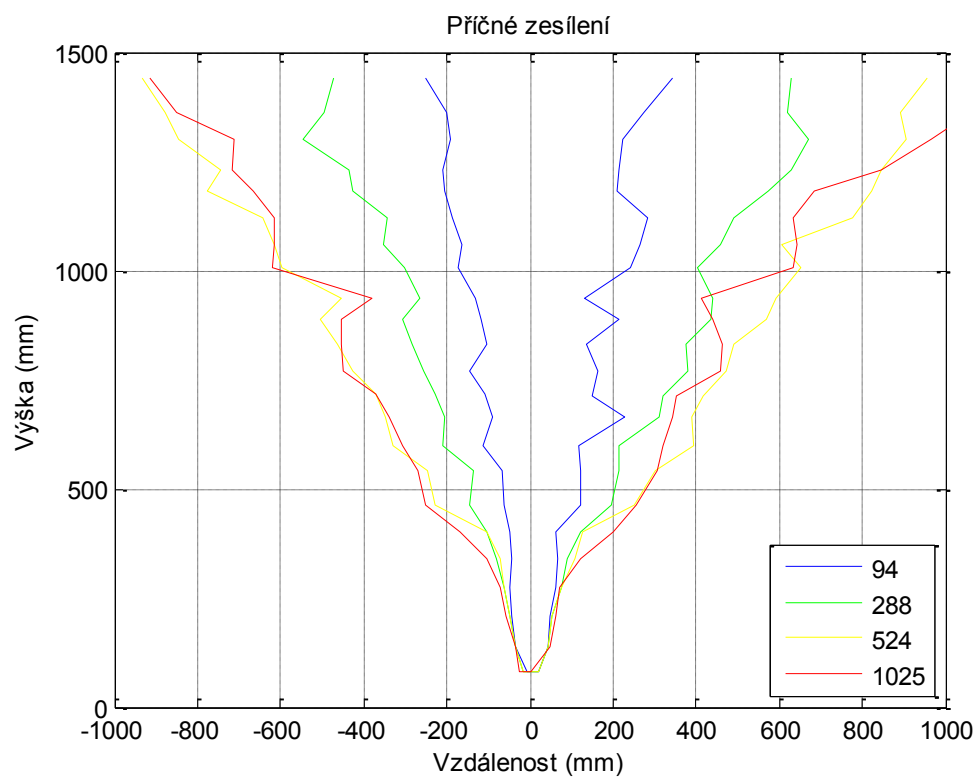
Obrázek 13. Směrová charakteristika podélného směru při změně zesílení



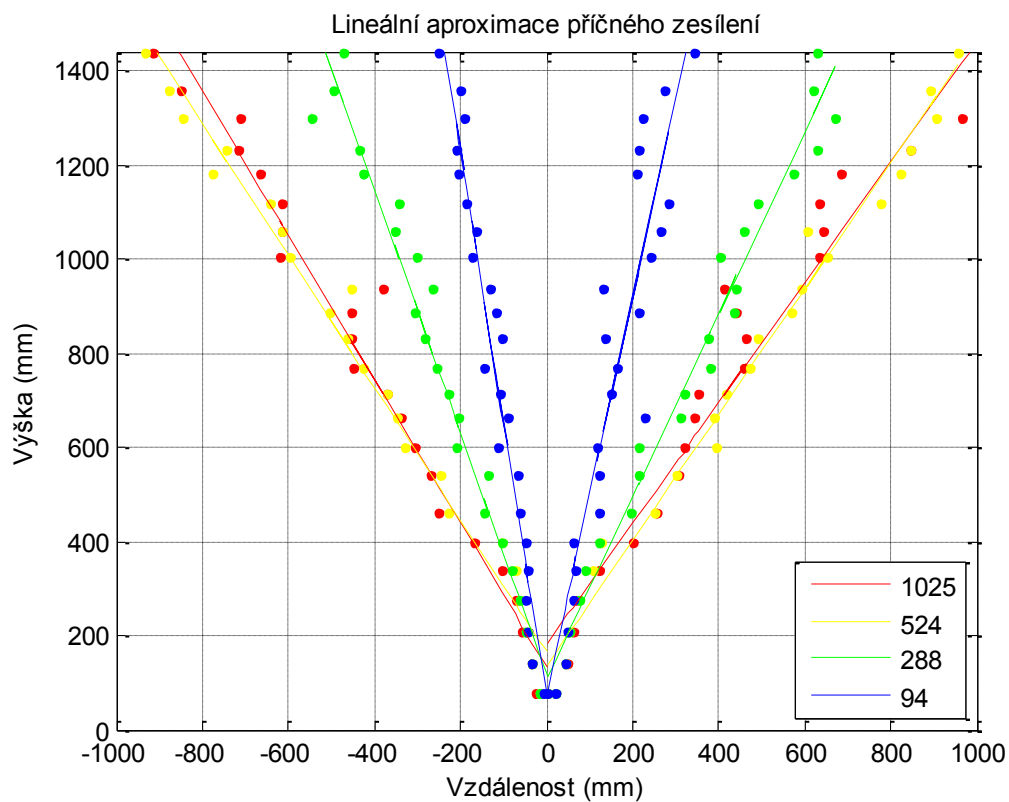
Obrázek 14. Aproximace podélného zesílení

Tabulka 4. naměřená data pro příčný směr

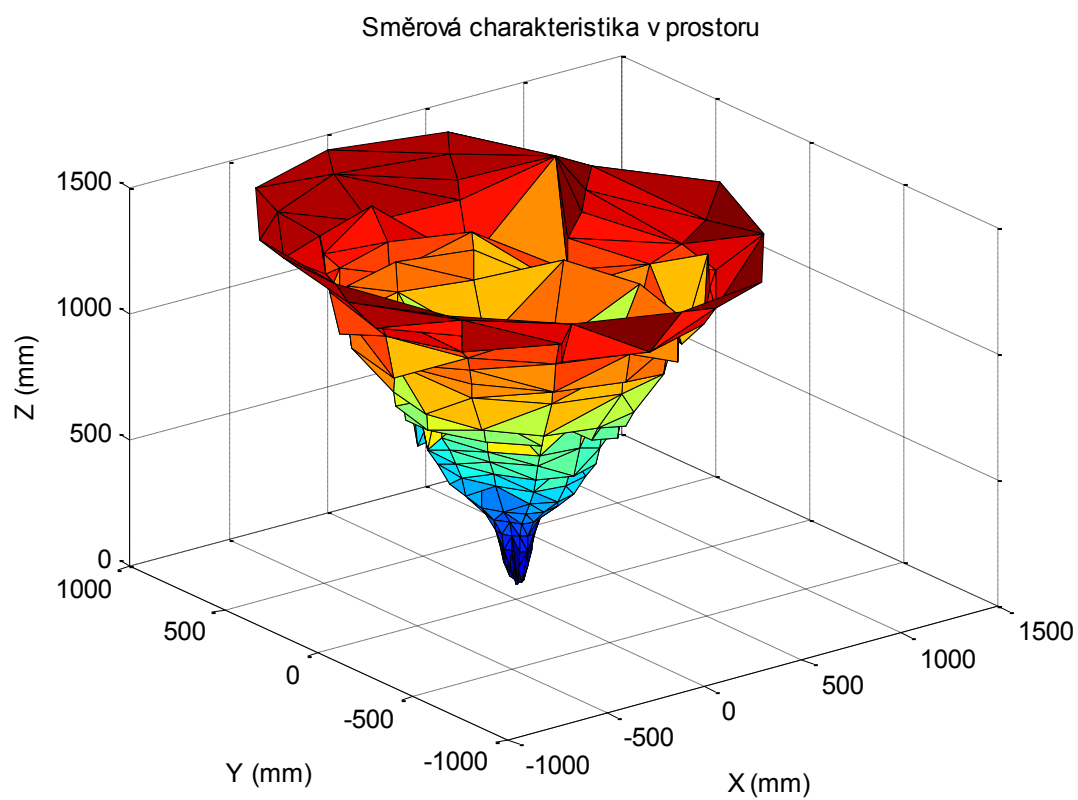
|            | Analogové zesílení      |      |      |      |
|------------|-------------------------|------|------|------|
|            | 94                      | 288  | 524  | 1025 |
| Výška (mm) | Protilehlá odvěsna (mm) |      |      |      |
| 80         | 20                      | 19   | 20   | 0    |
| 140        | 42                      | 42   | 44   | 53   |
| 210        | 49                      | 54   | 54   | 61   |
| 275        | 60                      | 75   | 74   | 70   |
| 340        | 69                      | 90   | 108  | 121  |
| 400        | 63                      | 121  | 127  | 202  |
| 463        | 124                     | 194  | 251  | 254  |
| 540        | 124                     | 215  | 303  | 308  |
| 600        | 117                     | 213  | 392  | 318  |
| 665        | 128                     | 311  | 388  | 345  |
| 715        | 148                     | 318  | 417  | 351  |
| 770        | 165                     | 380  | 473  | 460  |
| 886        | 163                     | 375  | 493  | 465  |
| 930        | 212                     | 436  | 568  | 442  |
| 935        | 132                     | 442  | 590  | 411  |
| 1005       | 242                     | 401  | 654  | 633  |
| 1061       | 263                     | 457  | 604  | 644  |
| 1120       | 282                     | 489  | 775  | 632  |
| 1183       | 208                     | 572  | 822  | 685  |
| 1230       | 215                     | 628  | 845  | 845  |
| 1300       | 223                     | 672  | 905  | 965  |
| 1360       | 274                     | 620  | 891  | 1050 |
| 1440       | 342                     | 628  | 955  | 1038 |
| 80         | -9                      | -16  | -16  | -25  |
| 140        | -35                     | -36  | -35  | -34  |
| 210        | -42                     | -48  | -49  | -56  |
| 275        | -49                     | -64  | -62  | -73  |
| 340        | -42                     | -80  | -73  | -105 |
| 400        | -50                     | -102 | -102 | -170 |
| 463        | -63                     | -145 | -226 | -251 |
| 540        | -68                     | -134 | -247 | -270 |
| 600        | -113                    | -209 | -330 | -306 |
| 665        | -92                     | -204 | -348 | -340 |
| 715        | -106                    | -230 | -372 | -373 |
| 770        | -144                    | -255 | -425 | -448 |
| 886        | -103                    | -282 | -461 | -454 |
| 930        | -118                    | -308 | -503 | -453 |
| 935        | -130                    | -264 | -453 | -381 |
| 1005       | -174                    | -304 | -597 | -619 |
| 1061       | -164                    | -354 | -615 | -614 |
| 1120       | -187                    | -343 | -643 | -617 |
| 1183       | -203                    | -427 | -775 | -664 |
| 1230       | -210                    | -435 | -742 | -717 |
| 1300       | -193                    | -548 | -846 | -714 |
| 1360       | -202                    | -495 | -878 | -852 |
| 1440       | -253                    | -472 | -932 | -914 |



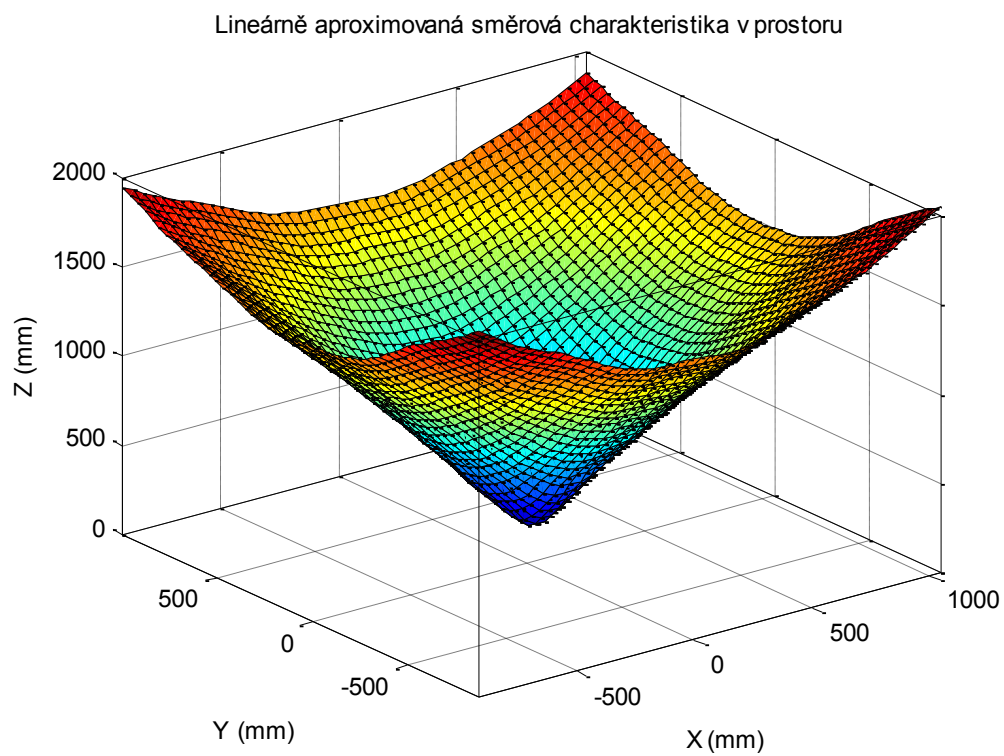
Obrázek 15. Směrová charakteristika příčného směru při změně zesílení



Obrázek 16. Aproximace příčného zesílení



*Obrázek 17. Směrová charakteristika zobrazená v prostoru*



*Obrázek 18. aproximovaná data směrové charakteristiky v prostoru*

Data v předchozím stavu jsou neupravená, proto jsem se je rozhodl lineárně aproximovat, výsledky této aproximace jsou zobrazeny ve výše uvedeném grafu. Z aproximovaných grafů jsem pomocí goniometrických funkcí vypočetl úhel. Nejvíce překvapující bylo zjištění, že úhly při zesílení 524 se rovnají a v některých místech i převyšují úhly u zesílení 1025. Což napovídá předchozímu tvrzení, že se nejedná o lineární změnu. Dále je možné vidět nepatrný rozdíl mezi úhly příčné a podélné charakteristiky. Při optimálním nastavení analogového zesílení vzhledem ke vzdálenosti a velikosti odrazové plochy se parametry udávané výrobcem ( $55^\circ$ ) shodovaly s naměřenými hodnotami. Velikosti úhlů odpovídají celému úhlu viditelného prostoru senzorem.

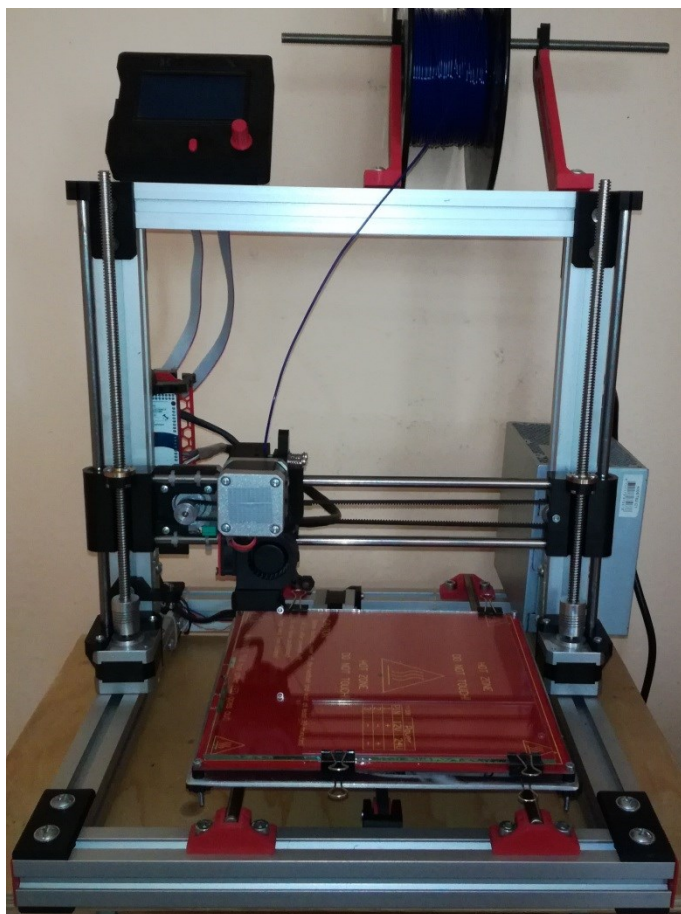
Tabulka 5. Výsledky měření

| Analogové zesílení | Úhel $\alpha$          |                         |
|--------------------|------------------------|-------------------------|
|                    | Příčná charakteristika | Podélná charakteristika |
| 94                 | $27,78^\circ$          | $21,84^\circ$           |
| 288                | $45,06^\circ$          | $43,70^\circ$           |
| 524                | $66,34^\circ$          | $64,76^\circ$           |
| 1025               | $64,92^\circ$          | $60,74^\circ$           |

## 8 3D tiskárna

Tiskárna dokáže převést virtuální objekt vytvořen v počítačovém softwaru do fyzického objektu. Postup vytváření tohoto objektu je popsán v další kapitole. Rám tiskárny je sestaven z hliníkových profilů ALU TP. Pohyb jednotlivých os zajišťuje 5 krokových motorů s krokem  $1,8^\circ$ , tedy 200 kroků na jednu otáčku kolem své osy. Proudový odběr motorů, které řídí osy je 1A motor pohybující extruderem je silnější, proto je jeho proudový odběr 2A. Pohyb po ose X a Y je zajištěn pomocí řemenů S2M. Pohyb po ose Z je zajištěn dvěma závitovými tyčemi typu ACME se stoupáním 1,58 mm na otáčku. Optimální rychlost tiskárny se pohybuje okolo  $60 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , avšak dá se nastavit až na  $80 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , což ale ve finální verzi ovlivní kvalitu výtisku. Při vyšších rychlostech dochází k přeskokování kroků a tisk se nezdaří. Rozhraní mezi uživatelem a řídicí elektronikou obstarává plně grafický display s radičem a výstupem na SD kartu. Je na něm vytvořeno uživatelské rozhraní, které uživateli umožňuje sledovat aktuální stav jako například teplota extruderu a vyhřívané desky, doba tisku a postup. Display je přes paralelní sběrnici připojen na desku RAMPS 1.4, která se stará o napájení motorů extruderu a tisknutelné plochy, zároveň je napájena z 400W ATX PC zdroje. O napájení jednotlivých motorů se starají Polulu ovladače krokového motoru. Do této desky jsou zároveň zapojeny 3 koncové spínače a dva NTC  $10 \text{ K}\Omega$  termistory. Zároveň jsou zde připojeny dva ventilátory se 7500 rpm. Jeden Pomáhá lépe chladit hliníkový chladič, kterým je vedená struna a druhý fouká na výrobek při tištění, což umožňuje tisknout převisy až do  $50^\circ$ . Pro vyšší převisy je ve Simplify3D vložena funkce podpurných materiálů. Deska umožňuje napájení a komunikaci s řídicí deskou Arduino MEGA 2560, na které běží řídicí firmware. MEGA 2560 obsahuje mikrokontrolér ATmega 2560. Jedná se o firmware Marlin RC7, který je volně k dispozici. Marlin dovoluje zvolit hustotu výplně, což výrazně šetří materiál a snižuje hmotnost výsledného objektu. Tisknutelná plocha k dispozici je  $6859 \text{ cm}^3$  což odpovídá 19 cm v každé ose.

Na tiskárně je možné tisknout s většiny materiálů, které jsou k dispozici na trhu. Nejběžnější jsou však PLA (190 °C), ABS (230 °C), HIPS (230 °C). Cena na trhu se pohybuje okolo 400 Kč za 1 Kg materiálu pro PLA a 350 Kč pro ABS a HIPS. Nejvíce doporučuji používat PLA, jelikož je nejjednodušší na tisk, vyžaduje nejnižší teplotu, je recyklovatelný a uvolňuje nejméně částic do ovzduší. ABS a HIPS jsou vyrobeny z ropy při jejich používání je doporučováno větrat, při tisku potřebují vyrovnanou teplotu, proto je doporučováno tisknout v uzavřeném prostředí. Vyrobené objekty jsou však více odolné vůči venkovnímu prostředí. Tato tiskárna dovede vytvořit objekt s přesností na desetiny milimetru a dokáže tisknout s rozlišením až 100  $\mu\text{m}$ . Na obrázku níže je vyobrazená tiskárna kartézského typu, existuje i takzvaný delta typ, nevýhodou delta typu je, že zabírá více místa na výšku, je však méně náchylná k poruchám. Obrovskou výhodou těchto tiskáren je, že se jedná o Opensource projekt to znamená, že firmware je k dispozici volně na internetu, což značně redukuje cenu na pořízení a také umožňuje rychlejší vývoj této technologie. 3D tiskárny mají už teď velké uplatnění a to především ve zdravotnictví, stavebnictví a cukrářství.



*Obrázek 19. 3D Tiskárna*

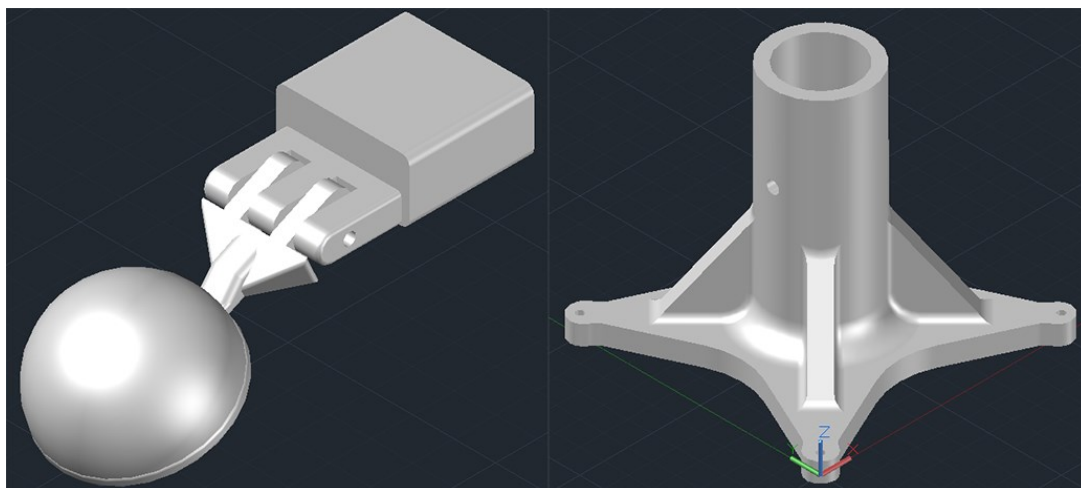


## 9 Měřicí přípravek

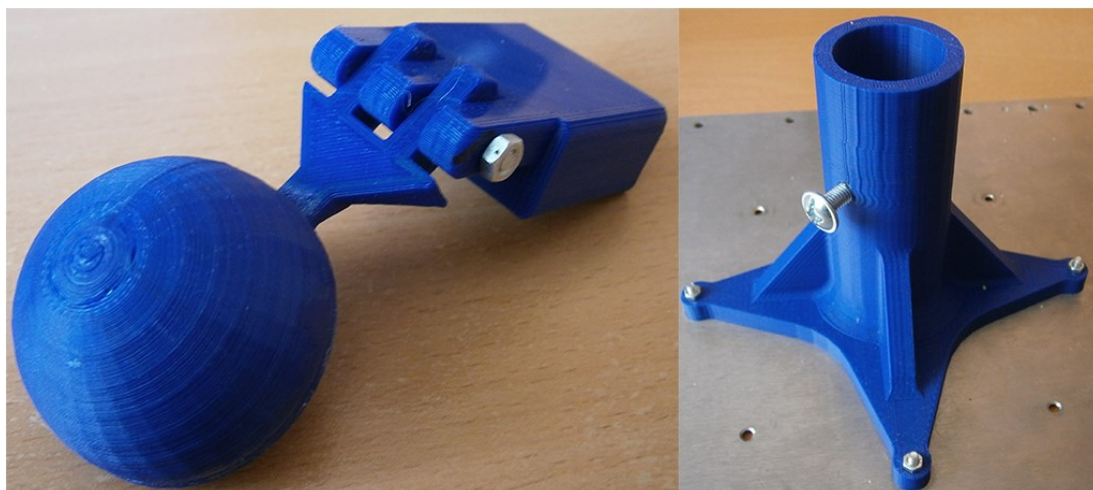
Sestavil jsem měřicí přípravek. Spodní část podstavce je z legované oceli o rozměrech 50 x 35 cm. K podstavci je šrouby přichycena spojovací část. Do tohoto objektu je zasazena teleskopická tyč. Na jejím vrcholku je umístěna stahovací spona, která drží rameno o délce 50 cm. Na druhé straně dřevěného ramene je připevněn objekt ve tvaru kupole s možností nastavení úhlu. Tvar kupole byl zvolen z důvodu nulového úhlu odrazu zvuku. Tento objekt a spojovací část jsem nakreslil ve 3D pomocí programu AutoCAD. Objekty byly poté převedeny do požadovaného formátu a převedeny do programu Simplify3D, ve kterém jsem nastavil dodatečné parametry výroby. Hustota výplně byla 20 %, výška jednotlivých vrstev 200  $\mu\text{m}$ . Jelikož bude zařízení používáno v teplotně kontrolovatelném a suchém prostředí zvolil jsem jako výrobní materiál PLA. Poté už byly soubory převedeny do G-kódu, který rozloží objekt k vytisknutí do jednotlivých příkazů určené pro motory. Jako ukázkou je níže uvedený ukončovací skript v G-kódu.

```
M104 S0 ;           //vypne vyhřívání extruderu
M140 S0 ;           //vypne vyhřívání tisknutelné plochy
M107 ;             //vypne ventilátor
G1 X0 Y180 F1000;   //vynuluje osu X a nastaví osu Y do pozice
180 s akcelerací 1000.
M84 ;             //vypne motory
```

Doba výroby všech součástí trvala dvě a půl hodiny. Další obrázky měřicího přípravku jsou uvedeny v příloze. Po vytištění dílů jsem díly lehce očistil od přebytků a díly na levé straně spojil šroubem M3. Do dílu na pravé straně jsem vložil šroub M5 o délce 10 mm, který bude sloužit jako zajištění tyče proti nechtěným pohybům.



Obrázek 20. Namodelované objekty



*Obrázek 21. Vyrobené objekty*



*Obrázek 22. Měřicí stojan*

## 10 Postup měření

Měření jsem prováděl v laboratoři s vhodnými podmínkami pro měření. Senzor jsem umístil do prostoru. Po spuštění měřicí aplikace jsem do odhadnuté vzdálenosti umístil stojan s ramenem směřujícím k senzoru. Postupně jsem stojan přibližoval až do chvíle, kdy byl v aplikaci změřen odraz od měřícího přípravku. Z naměřené hodnoty senzorem a vzdálenosti od senzoru jsem pomocí goniometrických funkcí vypočetl úhel. Pro ověření výsledku jsem zpětně z úhlu dopočetl zbývající stranu. Pokud strana vypočtená odpovídala skutečné velikosti této strany, prohlásili jsme výsledek za platný a byl zapsán do tabulky. Tento způsob měření byl opakován pro ostatní změřené výsledky. Po změření všech bodů byl senzor otočen po  $30^\circ$  a obdobným způsobem byly změřeny ostatní strany charakteristiky. Dále jsem pak zjišťoval vliv analogového zesílení na tuto charakteristiku. Měření probíhalo stejně, až na to, že jsem po každém měření změnil hodnotu analogového zesílení o určitý krok.

## **Závěr**

Cílem této práce bylo změřit směrovou charakteristiku senzoru SFR08 a potvrdit úhel této charakteristiky udávaný výrobcem. Sestavil jsem funkční aplikaci pro pořizování naměřených hodnot i s možností ukládání těchto dat do textového souboru. Dále jsem sestavil měřící rameno, pomocí něhož bylo měření uskutečněno. Jeho dílčí komponenty jsem namodeloval v AutoCADu a poté je vyrobil na 3D tiskárně. Rameno bylo velice stabilní, což mi umožnilo dosáhnout co nejpřesnějších výsledků. Naměřená data jsem přenesl do Matlabu, kde jsem je vykreslil a aproximoval. Úhel vypočtený z naměřených dat vyšel  $25,57^\circ$  pro podélný směr a  $26,19^\circ$  pro příčný při maximálním analogovém zesílení, což se hodně blíží našemu hledanému úhlu ( $27,50^\circ$ ). Drobná odlišnost těchto hodnot byla pravděpodobně způsobena nepřesností měření. Z dat je patrné, že se zvyšující se vzdáleností se zvyšuje hledaný úhel. Při pohledu na graf, který zobrazuje porovnání těchto charakteristik, můžeme prohlásit, že se jedná o téměř dokonalý kužel. Výrobce senzoru tvrdí, že tvar charakteristiky je pevně daný. Z grafů popisujících analogové zesílení je patrné, že s omezením analogového zesílení se úhel charakteristiky snižuje, naopak při zvýšení analogového zesílení se úhel rozšiřuje. Nejedná se však o lineární změnu. Možným rozšířením práce by mohlo být provedení celého měření s výstupem dat do neuronové sítě, kdy je analogové zesílení a rozsah senzoru řízen automaticky. V tomto módu by se naměřený úhel měl shodovat s úhlem od výrobce. Další vývoj práce vidím v automatizaci celého procesu měření, čímž by se minimalizovala chyba způsobená lidským faktorem.

## Literatura

- [1]. *ULTRAZVUKOVÁ DEFEKTOSKOPIE: NEDESTRUKTIVNĚ BEZKONTAKTNĚ ULTRAZVUKOVÝ PRINCIP* [online]. Absolonova 826/49. Brno: SONOTEC s.r.o, 2011 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: [http://www.sonotec.cz/pdf/tauchtechnikpruefkoepfe\\_flyer\\_sonotec.pdf](http://www.sonotec.cz/pdf/tauchtechnikpruefkoepfe_flyer_sonotec.pdf)
- [2]. WITTASSEK, PH.D., Ing. Tomáš. *VIRTUÁLNÍ INSTRUMENTACE I.: učební text* [online]. 2012. Ostrava:,2012 [cit. 2017-02-12]. ISBN neuvedeno. Dostupné z: [http://lms.vsb.cz/pluginfile.php/490463/mod\\_resource/content/6/Virtualni\\_Instrumentace\\_I\\_Wittassek\\_2012-09-05a.pdf](http://lms.vsb.cz/pluginfile.php/490463/mod_resource/content/6/Virtualni_Instrumentace_I_Wittassek_2012-09-05a.pdf)
- [3]. MathWorks: MATLAB. *Math Works: MATLAB* [online], 2015 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [4]. ČÍSLICOVÁ A MIKROPROCESOROVÁ TECHNIKA. PRAUZEK, PH.D., Ing. Michal. *ČÍSLICOVÁ A MIKROPROCESOROVÁ TECHNIKA: Učební texty a návody do cvičení* [online]. 2013. Ostrava:,2013, s. 83-91 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~pra132/files/CMT\\_prauzek\\_final\\_1\\_2.pdf](http://homel.vsb.cz/~pra132/files/CMT_prauzek_final_1_2.pdf)
- [5]. *SFR08 ultrasonic fange finder: Technical specification* [online].:2013 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.html>
- [6]. PEPPERL+FUCHS: Ultrazvukové senzory. *PEPPERL+FUCHS: Ultrazvukové senzory* [online]. Praha 8:2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: [http://www.pepperl-fuchs.cz/czech\\_republic/cs/classid\\_182.htm#](http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/classid_182.htm#)
- [7]. *Devantech SFR08 UltraSonic Rangefinder: SFR08 Specifications* [online]. 2015. Austin:, 2015 [cit. 2017-04-14]. ISBN . Dostupné z: <http://coecsl.ece.illinois.edu/ge423/devantechsrf08ultrasonicranger.pdf>
- [Obr.1]. ČÍSLICOVÁ A MIKROPROCESOROVÁ TECHNIKA. PRAUZEK, PH.D., Ing. Michal. *ČÍSLICOVÁ A MIKROPROCESOROVÁ TECHNIKA: Učební texty a návody do cvičení* [online]. 2013. Ostrava:, 2013, s. 83-91 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~pra132/files/CMT\\_prauzek\\_final\\_1\\_2.pdf](http://homel.vsb.cz/~pra132/files/CMT_prauzek_final_1_2.pdf)
- [Obr.2]. PLANET ANALOG: I2C Bus. *PLANET ANALOG: I2C Bus* [online], 2009 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: [http://www.planetanalog.com/document.asp?doc\\_id=527900](http://www.planetanalog.com/document.asp?doc_id=527900)
- [Obr.3]. Použití I2C v LabVIEW a USB-8451. *NATIONAL INSTRUMENTS* [online], 2016 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <http://www.ni.com/tutorial/5767/en/>
- [Obr.4]. *SFR08 ultrasonic fange finder: Technical specification* [online]. 2013 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.html>

- [Obr.5]. The Free Information Society: SFR08 Rangefinder. *The Free Information Society: SFR08* [online]., 2001 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.freeinfosociety.com/electronics/schemview.php?id=2096>
- [Obr.6]. I2C BUS: I2C Bus Specification. *I2C BUS: I2C Bus Specification* [online]., 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://i2c.info/i2c-bus-specification>
- [Obr.7]. *Devantech SFR08 UltraSonic Rangefinder: SFR08 Specifications* [online]. 2015. Austin: ., 2015 [cit. 2017-04-14]. ISBN . Dostupné z: <http://coecsl.ece.illinois.edu/ge423/devantechsrf08ultrasonicranger.pdf>
- [Obr.8]. WITTASSEK, PH.D., Ing. Tomáš. *VIRTUÁLNÍ INSTRUMENTACE I.: učební text* [online]. 2012. Ostrava, 2012 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://lms.vsb.cz/pluginfile.php/490463/mod\\_resource/content/6/Virtualni\\_Instrumentace\\_I\\_Wittassek\\_2012-09-05a.pdf](http://lms.vsb.cz/pluginfile.php/490463/mod_resource/content/6/Virtualni_Instrumentace_I_Wittassek_2012-09-05a.pdf)

## Seznam příloh

|  |                     |
|--|---------------------|
| Matlab skript pro vykreslení grafů ..... | 31                  |
| Naměřená data .....                      | Elektronická podoba |
| Měřicí aplikace v LabVIEW .....          | Elektronická podoba |
| Technické parametry senzoru SFR08 .....  | Elektronická podoba |
| Data do Matlabu (workspace) .....        | Elektronická podoba |

## Matlab skript pro vykreslení grafů

```
figure() %vytvoření grafu
plot(pricna_x_1025,vyska,'b') %vlození dat do grafu
hold on %čekej na data
plot(podelna_x_1025,vyska,'r') %vlození dat do grafu
grid on %zapnout vodící čáry
title('Srovnání příčné a podélné charakteristiky'); %nastavení názvu grafu
xlabel('Vzdálenost (mm)'); %popis osy x
ylabel('Výška (mm)'); %popis osy y
xlim([-1000 1000]); %nastavení limitu osy x
ylim([0 1440]); %nastavení limitu osy y
legend('podélná','příčná','Location','southeast'); %legenda

figure(); %vytvoření grafu
plot(pricna_x_1025,vyska,'r.') %vlození dat do grafu
hold on %čekej na data
plot(podelna_x_1025,vyska,'b.') %vlození dat do grafu
ylim([0 1440]); %nastavení limitu osy y
xlim([-1000 1000]); %nastavení limitu osy x
grid on; %zapni vodící čáry
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_1025(1:24),vyska(1:24),1) %vlození vybraných dat do
fit funkce
aprox_podelna_L = CE(1) * podelna_x_1025(1:24) + CE(2); % rovnice  $y = k \cdot x + q$ 
h1 = plot(podelna_x_1025(1:24),aprox_podelna_L) %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_1025(24:47),vyska(24:47),1) %vlození vybraných dat
do fit funkce
aprox_podelna_R = CE(1) * podelna_x_1025(24:47) + CE(2); %rovnice  $y = k \cdot x + q$ 
plot(podelna_x_1025(24:47),aprox_podelna_R) %vykreslení dat
%-----pricna-----
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_1025(1:24),vyska(1:24),1) %vlození vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_L = CE(1) * pricna_x_1025(1:24) + CE(2); %rovnice  $y = k \cdot x + q$ 
h2 = plot(pricna_x_1025(1:24),aprox_pricna_L,'r') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_1025(24:47),vyska(24:47),1) %vlození vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_R = CE(1) * pricna_x_1025(24:47) + CE(2); %rovnice  $y = k \cdot x + q$ 
plot(pricna_x_1025(24:47),aprox_pricna_R,'r') %vykreslení dat

legend([h1(1) h2(1)], 'podélná','příčná','Location','southeast'); %legenda
title('Srovnání příčné a podélné charakteristiky'); %název grafu
xlabel('Vzdálenost (mm)'); %popisek osy x
ylabel('Výška (mm)'); %popisek osy y

%-----podelne zesileni-----
figure() %novy graf
plot(podelna_x_94,vyska,'b') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(podelna_x_288,vyska,'g') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(podelna_x_524,vyska,'y') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(podelna_x_1025,vyska,'r') %vykreslení dat
grid on %zapnutí vodících čar
```



```

title('Příčné zesílení'); %název grafu
xlabel('Vzdálenost (mm)'); %popisek osy x
ylabel('Výška (mm)'); %popisek osy y
xlim([-1000 1000]); %nastavení limitu osy x
ylim([0 1440]); %nastavení limitu osy y
legend('94','288','524','1025','Location','southeast'); %legenda
%-----aproximace podélného zesílení-----
figure(); %nový graf
plot(podelna_x_1025,vyska,'r.') %vykreslení dat
ylim([0 1440]); %nastavení limitu osy y
xlim([-1000 1000]); %nastavení limitu osy x
grid on %zapnutí vodicích čar
hold on %čekej na data
plot(podelna_x_524,vyska,'y.') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(podelna_x_288,vyska,'g.') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(podelna_x_94,vyska,'b.')
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_1025(1:24),vyska(1:24),1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_podelna_L = CE(1) * podelna_x_1025(1:24) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
h1 = plot(podelna_x_1025(1:24),aprox_podelna_L,'r') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_1025(24:47),vyska(24:47),1) %vložení vybraných dat
do fit funkce
aprox_podelna_R = CE(1) * podelna_x_1025(24:47) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
plot(podelna_x_1025(24:47),aprox_podelna_R,'r') %vykreslení dat
%-----
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_524(1:24),vyska(1:24),1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_podelna_L_524 = CE(1) * podelna_x_524(1:24) + CE(2); %rovnice y =
k*x+q
h2 = plot(podelna_x_524(1:24),aprox_podelna_L_524,'y') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_524(24:47),vyska(24:47),1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_R_524 = CE(1) * podelna_x_524(24:47) + CE(2); %rovnice y =
k*x+q
plot(podelna_x_524(24:47),aprox_pricna_R_524,'y') %vykreslení dat
%-----
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_288(1:24),vyska(1:24),1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_podelna_L_288 = CE(1) * podelna_x_288(1:24) + CE(2); %rovnice y =
k*x+q
h3 = plot(podelna_x_288(1:24),aprox_podelna_L_288,'g') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_288(24:47),vyska(24:47),1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_podelna_R_288 = CE(1) * podelna_x_288(24:47) + CE(2);
plot(podelna_x_288(24:47),aprox_podelna_R_288,'g') %vykreslení dat
%-----
hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_94(1:24),vyska(1:24),1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_podelna_L_94 = CE(1) * podelna_x_94(1:24) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
h4 = plot(podelna_x_94(1:24),aprox_podelna_L_94,'b') %vykreslení dat

```

```

hold on %čekej na data
CE = polyfit(podelna_x_94(24:47), vyska(24:47), 1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_podelna_R_94 = CE(1) * podelna_x_94(24:47) + CE(2); %rovnice y =
k*x+q
plot(podelna_x_94(24:47), aprox_podelna_R_94, 'b') %vykreslení dat

legend([h1(1) h2(1) h3(1)
h4(1)], '1025', '524', '288', '94', 'Location', 'southeast'); %legenda
title('Lineární aproximace podélného zesílení'); %název grafu
xlabel('Vzdálenost (mm)'); %popisek osy x
ylabel('Výška (mm)'); %popisek osy y

%-----pricne zesileni-----
figure() %vytvoření grafu
plot(pricna_x_94, vyska, 'b') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(pricna_x_288, vyska, 'g') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(pricna_x_524, vyska, 'y') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(pricna_x_1025, vyska, 'r') %vykreslení dat
grid on %čekej na data
title('Podélné zesílení');
xlabel('Vzdálenost (mm)');
ylabel('Výška (mm)');
xlim([-1000 1000]);
ylim([0 1440]);
legend('94', '288', '524', '1025', 'Location', 'southeast');
%-----aproximace přičného zesílení-----
figure(); %vytvoření grafu
plot(pricna_x_1025, vyska, 'r.') %vykreslení dat
ylim([0 1440]); %omezení osy y
xlim([-1000 1000]); %omezení osy x
grid on %zapnutí vodicích čar
hold on %čekej na data
plot(pricna_x_524, vyska, 'y.') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(pricna_x_288, vyska, 'g.') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
plot(pricna_x_94, vyska, 'b.') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_1025(1:24), vyska(1:24), 1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_L = CE(1) * pricna_x_1025(1:24) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
h1 = plot(pricna_x_1025(1:24), aprox_pricna_L, 'r') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_1025(24:47), vyska(24:47), 1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_R = CE(1) * pricna_x_1025(24:47) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
plot(pricna_x_1025(24:47), aprox_pricna_R, 'r') %vykreslení dat
%-----
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_524(1:24), vyska(1:24), 1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_L_524 = CE(1) * pricna_x_524(1:24) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
h2 = plot(pricna_x_524(1:24), aprox_pricna_L_524, 'y') %vykreslení dat
hold on %čekej na data

```

```

CE = polyfit(pricna_x_524(24:47), vyska(24:47), 1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_R_524 = CE(1) * pricna_x_524(24:47) + CE(2); %rovnice y =
k*x+q
plot(pricna_x_524(24:47), aprox_pricna_R_524, 'y') %vykreslení dat
%-----
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_288(1:24), vyska(1:24), 1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_L_288 = CE(1) * pricna_x_288(1:24) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
h3 = plot(pricna_x_288(1:24), aprox_pricna_L_288, 'g') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_288(24:47), vyska(24:47), 1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_R_288 = CE(1) * pricna_x_288(24:47) + CE(2); %rovnice y =
k*x+q
plot(pricna_x_288(24:47), aprox_pricna_R_288, 'g') %vykreslení dat
%-----
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_94(1:24), vyska(1:24), 1) %vložení vybraných dat do fit
funkce
aprox_pricna_L_94 = CE(1) * pricna_x_94(1:24) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
h4 = plot(pricna_x_94(1:24), aprox_pricna_L_94, 'b') %vykreslení dat
hold on %čekej na data
CE = polyfit(pricna_x_94(24:47), vyska(24:47), 1) %vložení vybraných dat do
fit funkce
aprox_pricna_R_94 = CE(1) * pricna_x_94(24:47) + CE(2); %rovnice y = k*x+q
plot(pricna_x_94(24:47), aprox_pricna_R_94, 'b') %vykreslení dat

legend([h1(1) h2(1) h3(1)
h4(1)], '1025', '524', '288', '94', 'Location', 'southeast'); %legenda
title('Lineární aproximace příčného zesílení'); %název grafu
xlabel('Vzdálenost (mm)'); %popisek osy x
ylabel('Výška (mm)'); %popisek osy y

%-----3D vizualizace-----
[XI YI ZI] = griddata(x, y, z, linspace(0, 1), linspace(0, 1)); %rozdělení dat
do proporcionálních oddílů
figure(); %vytvoření grafu
trisurf(delaunay(x, y), x, y, z) %vytvoření 3D grafu
grid on; %zapnutí vodících čar
xlabel('X (mm)'); %popisek osy x
ylabel('Y (mm)'); %popisek osy y
zlabel('Z (mm)'); %popisek osy z
title('Směrová charakteristika v prostoru'); %název grafu
%-----aproximace 3D grafu -----
figure() %vytvoření grafu
f = fit([x, y], z, 'lowess', 'Span', .3); %aproximování dat
plot(f, [x, y], z) %vykreslení aproximovaných dat
zlim([0 2000]) %omezení osy z
xlabel('X (mm)'); %popisek osy x
ylabel('Y (mm)'); %popisek osy y
zlabel('Z (mm)'); %popiske osy z
title('Lineárně aproximovaná směrová charakteristika v prostoru'); %název
grafu

```